A A BOLA!
COLEÇÃO
PROBLEMAS EM
QUADRINHOS
ulas de
mesmo?
não está
endendo nada.

ILUSTRAÇÃO
Cleverson de Oliveira Dias

ASSESSORIA PEDAGÓGICA
Eguimara Branco

DIAGRAMAÇÃO
William Alberto de Oliveira
Rosângela Menta Mello

PROJETO GRÁFICO
William Alberto de Oliveira

COORDENAÇÃO DE ENSINO MÉDIO
Meryna Therezinha Juliano Rosa

ASSESSORIA PEDAGÓGICA
Fábio Luiz de Souza
Marina de Lurdes Machado

COORDENAÇÃO DE MÍDIA IMPRESSA E WEB
Mônica Schreiber

REVISÃO TEXTUAL
Cássia Regina C. de Freitas
Márcia Regina Galvan Campos
Tatiane Valéria R. Carvalho

Apresentação

A coleção “Problemas em Quadrinhos” é uma produção da Diretoria de Tecnologia Educacional - DITEC e do Departamento de Educação Básica – DEB, da Secretaria de Estado da Educação do Paraná.

O principal objetivo da coleção é disponibilizar aos professores, novas e diferentes linguagens por meio do gênero textual História em Quadrinhos - HQs. Dessa forma, espera-se agregar à prática docente possibilidades de desenvolver atividades lúdicas e dinâmicas, que propiciem aos alunos refletir, solucionar e resolver problemas sobre diferentes situações e contextos, inclusive de forma interdisciplinar, tornando-se um rico material de apoio à prática pedagógica.

Além das HQs, o material apresenta também sugestões de encaminhamentos metodológicos e textos complementares que podem auxiliar o professor na abordagem dos conteúdos tratados em sala de aula.

O material está disponibilizado no formato PDF, prevendo a impressão em tamanho A4.

Histórias em quadrinhos como estas e outros objetos educacionais podem ser encontrados em nosso Portal - www.educacao.pr.gov.br.

A VOLTA

APÓS PASSAREM O CARNAVAL NA PRAIA DE MATINHOS, NO LITORAL PARANAENSE, ROBERTA E SUA FILHA VOLTAM A CURITIBA ONDE MORAM HÁ QUINZE ANOS.

MÃE! QUE HORAS SÃO?

SÃO SEIS HORAS.

FALTA MUITO PARA CHEGARMOS EM CURITIBA?

SE CONTINUARMOS COM ESSA VELOCIDADE, DAQUI A MEIA HORA ESTAREMOS EM CASA.

A PISTA ESTÁ MUITO ESCORREGADIA, É MELHOR EU CONTINUAR ANDANDO A 60 KM/H.

VUUMmm

TENHO QUE PODAR ESSE CAMINHÃO, SENÃO IREI ME ATRASAR.

VEÍCULO LONGO,
25 metros
de COMPRIMENTO.

AO COMEÇAR A ULTRAPASSAGEM, ROBERTA E SUA FILHA NÃO ENXERGAM UMA PLACA ALERTANDO-AS QUE, A 300 METROS DE ONDE ELAS SE ENCONTRAM, HOUVE UM DESLIZAMENTO.

SERÁ QUE ELAS CONSEGUIRÃO ULTRAPASSAR O CAMINHÃO E EVITAR UM ACIDENTE?

DADO: AUTOMÓVEL DE ROBERTA POSSUI 4,0 M DE COMPRIMENTO.

PRODUÇÃO Multimeios

HQ: A Volta – Sugestão de Atividade

Disciplina: Física
Nível: Ensino Médio
Conteúdo Estruturante: Movimento
Conteúdo básico: Quantidade de movimento
Conteúdo Específico: Velocidade, deslocamento e intervalo de tempo

METODOLOGIA	CRITÉRIOS AVALIATIVOS	RECURSOS COMPLEMENTARES
Por meio da "Resolução de problemas", espera-se que o estudante possa extrapolar a tradição da "substituição de valores em fórmulas" e dessa forma estabeleça, entre outras coisas, a relação entre todas as grandezas físicas envolvidas, isto é, o conjunto teórico no qual essa situação se insere. Num primeiro momento os estudantes serão convidados a ler a História em Quadrinhos - HQ. A leitura das imagens e a escrita dos balões, além de possibilitar interpretar e compreender a situação problema proposta, leva à percepção de como as diversas informações captadas, ditas ou não ditas, se relacionam com a questão proposta ao leitor (Será que elas conseguirão ultrapassar o caminhão e evitar um acidente?). Isso significa que a HQ "A Volta" precisa ser lida e interpretada, distinguindo o que é necessário para responder a pergunta proposta na situação problema. Essa leitura indicará quais decisões tomar e as suposições, hipóteses ou considerações necessárias para utilização do aporte conceitual que a envolve.	• Compreenda a concepção de referencial inercial, no qual são válidas as leis físicas, entre as quais, as leis de Newton. • Interprete movimentos em situações cotidianas através do conhecimento das leis de Newton, em que a relação entre velocidade e aceleração é de causa e efeito. • Utilize as leis do movimento para explicar situações cotidianas, como por exemplo, veículo em trajetória retilínea e desequilíbrio de objetos. • Passe a conhecer as grandezas físicas que determinam o movimento de um corpo (velocidade, aceleração e tempo), bem como suas unidades de medidas e desenvolverá a capacidade em realizar cálculos destes.	Simuladores: Corrida de Stockcar - disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/diaadia/diadia/arquivos/File/conteudo/objetos_de_aprendizagem/FISICA/sim_cinematica_stockcar.swf Colisão – disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/diaadia/diadia/arquivos/File/conteudo/objetos_de_aprendizagem/FISICA/sim_forcas_colisao.swf

Sugestões de leitura:

- ABIB, M. L. V. S. ; SILVA, Dirceu da; MIRANDA, H. T. . Participação em banca de Leonardo André Testoni. **A utilização de histórias em quadrinhos no ensino de física. (Qualificação de Mestrado)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação em Educação) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Fonte: https://uspdigital.usp.br/tycho/producaoacademica/fe/edm/BE-3.html. Acessado em: 24/05/2012.
- LEITE, Á. E. **Leitura no ensino de física:** Concepções, sentidos, possibilidades e dificuldades segundo o olhar dos professores. (Dissertação de mestrado) Curitiba: UFPR, Programa de Pós-Graduação em Educação.
- MARINHO, E. S. **Histórias em Quadrinhos:** a oralidade em sua construção. Disponível em: http://www.filologia.org.br/viiicnlf/anais/caderno12-11.html. Acesso em: 03/05/2011.
- PARANÁ. **Caderno de Expectativas de Aprendizagem.** Versão Preliminar 2011.

"A Volta": Aplicando as Leis de Newton em uma situação cotidiana[1].

Fabio Luiz de Souza[2]
Marina de Lurdes Machado[3]

Resumo:
Neste texto, apresenta-se uma proposta de encaminhamento metodológico para a história em quadrinhos (HQ) "A volta", criada pelo Professor Cleverson Dias, da equipe Multimeios da DITEC/SEED. Na HQ, Roberta e sua filha retornam de Matinhos no litoral, uma viagem realizada em um carnaval. Para tal encaminhamento, propõe-se utilizar uma metodologia baseada na leitura e na Resolução de Problemas em Física.

Situação Problema: "A volta" apresenta uma viagem em que uma mãe e sua filha realizam entre a cidade de Matinhos, no litoral, e Curitiba. Durante o trajeto, mãe e filha encontram obstáculos, em uma pista escorregadia e, um caminhão que precisa ser ultrapassado a fim de manter o tempo esperado para a viagem. Além disso, um deslizamento na pista, a 300 metros de onde elas se encontram é observado quando elas começam a ultrapassagem. Pergunta-se:

Será que elas conseguirão ultrapassar o caminhão e evitar o acidente?

Para buscar uma solução para a "situação problema" proposta utilizaremos como caminho metodológico a "Resolução de problemas" através do qual, espera-se que o estudante possa extrapolar a tradição da "substituição de valores em fórmulas" e estabeleça, entre outras coisas, a relação entre todas as grandezas físicas envolvidas, isto é, o conjunto teórico no qual essa situação se insere.

Resolução de problemas em física

> É uma tolice responder a uma pergunta que não tenha sido compreendida. É triste trabalhar para um fim que não se deseja. Estas coisas tolas e tristes fazem-se muitas vezes, mas cabe ao professor evitar que elas ocorram nas suas aulas. O aluno precisa compreender o problema, mas não só isto: deve também desejar resolvê-lo. Se lhe faltar compreensão e interesse, isto nem sempre será culpa sua. O problema deve ser bem escolhido, nem muito difícil nem muito fácil, natural e interessante, e um certo tempo deve ser dedicado à sua apresentação natural e interessante[4].

A epígrafe nos faz refletir sobre o papel do professor quanto a seleção e escolha de um problema, mas também na responsabilidade por despertar o interesse do aluno para a resolvê-lo, ainda que nem sempre ele se interesse por tal. Ainda assim, é importante o esforço, pois, somente o domínio conceitual possibilita resolver problemas de forma que estimule a reflexão do conteúdo em estudo por parte dos estudantes.

Entende-se que

> as concepções que são construídas a respeito de uma área do conhecimento relacionam-se com a construção do manejo conceitual desta mesma área. Dito em outros termos: o consenso mais evidente na nossa revisão é o de que o procedimento de uma situação de resolução de problema só tem significado visto em relação ao aporte conceitual no qual esta situação se insere[5].

---

[1] O encaminhamento metodológico abaixo foi elaborado pelo DEB para utilização nas oficinas de 2011.
[2] Técnico pedagógico da disciplina de Física do Núcleo Regional Estadual de Educação Área Metropolitana Sul.
[3] Técnica pedagógica da disciplina de Física da Secretaria de Estado da Educação.
[4] POLYA, G. **A arte de resolver problemas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006, p. 4.
[5] FÁVERO, Maria Helena; SOUSA, Célia Maria Soares Gomes de. **A resolução de Problemas em física:** revisão de pesquisa, análise e proposta

Problemas são comuns nos livros didáticos e nas aulas de física. No entanto, na maioria das vezes, sem a devida reflexão em torno dos conteúdos físicos envolvidos e dos modelos utilizados para sua resolução, priorizando resoluções essencialmente numéricas.

A vantagem de se utilizar uma HQ é a possibilidade de transpor o tradicionalismo das aulas puramente expositivas e matematizadas, pelo seu formato divertido e de fácil aceitação entre leitores, especialmente as crianças e os jovens. Pois, ao envolver aspectos lúdicos atrai o aluno para sua leitura tornando-a interessante para o processo de ensino de física.

A HQ "A Volta" traz uma situação problema que é o elemento desencadeador para a busca de uma solução. Além disso, ela se desenvolve na região paranaense, em um trajeto conhecido de boa parte das pessoas que costumam frequentar nossas praias.

Tal situação envolve as aplicações da teoria mecânica clássica, mais especificamente, as leis de Newton que implicam em uma força externa atuando sobre o veículo para alterar a sua velocidade, logo sua quantidade de movimento. Também utilizaremos a ideia de transformação de energia pelo trabalho da força de atrito, isto é, o teorema trabalho-energia da teoria Termodinâmica.

Num primeiro momento os estudantes serão convidados a ler a HQ. A leitura das imagens e a escrita dos balões, além de possibilitar interpretar e compreender a situação problema proposta, leva à percepção de como as diversas informações captadas, ditas ou não ditas, se relacionam com a questão proposta ao leitor (*Será que elas conseguirão ultrapassar o caminhão e evitar um acidente*?).

Isso significa que a HQ "A Volta", precisa ser lida, interpretada, distinguindo o que é necessário para responder a pergunta proposta na situação problema. Essa leitura indicará quais decisões tomar e as suposições, hipóteses ou considerações necessárias para utilização do aporte conceitual que a envolve.

Observa-se que a HQ em questão envolve conceitos relativos ao estudo dos movimentos como velocidade, deslocamento, intervalo de tempo, quantidade de movimento, impulso, força e aceleração. Esses conceitos se relacionam através das leis de Newton e as condições de equilíbrio de um corpo.

A seguir apresentamos como sugestão, uma sequência para o trabalho pedagógico com a HQ, distribuídas em vários momentos distintos, através da metodologia de resolução de problemas, buscando torná-la interessante ao aluno, isto é, despertar nele a vontade de responder a proposição, conforme colocado por Polya (2006).

Na construção das orientações metodológicas desta sequência, optou-se por utilizar perguntas exploratórias como forma de manter a constante atenção dos estudantes e, sutilmente, forçá-los a participar. Além disso, alguns textos podem ser utilizados diretamente com os estudantes, como os que estão em quadros apresentando possíveis resoluções para a questão proposta e, o texto que trata do atrito.

"A volta": Aplicando as leis de Newton em uma situação cotidiana.

Sequência didática: Aplicações das leis de Newton	
Conteúdo	Força de atrito em veículos em movimento.
Conhecimentos prévios	Quantidade de movimento; variação da quantidade de movimento – impulso; leis de Newton; força; variação de velocidade e aceleração; força de atrito; coeficiente de atrito estático e coeficiente de atrito dinâmico; Teorema trabalho-energia; força Peso e força Normal.
Metodologia	Leitura de HQ, Resolução de Problemas em Física.

Tabela1 – Propósito da sequência didática.

1º MOMENTO: LEITURA DA HQ

A leitura envolve a percepção dos códigos da imagem do desenho, da linguagem escrita dos balões e algumas descrições, que se complementam entre si. Uma HQ liga, coerentemente, imagens e texto, de forma que transformam o caráter do sistema representativo aparentemente estático em dinâmico, permitindo a inserção do leitor em sua narrativa ou até mesmo a sua participação na HQ.

---

metodológica. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n2/v6_n2_a3.htm>. Acesso em: 25/04/2011.

Os fatos narrados pela HQ “A Volta” buscam reproduzir uma conversa entre mãe e filha que interagem face a face, expressam-se por palavras, pensamentos, expressões corporais e faciais em sua viagem de volta a Curitiba. E, traz em seu contexto um hábito dos paranaenses que estabelecem uma ponte entre o litoral e a capital durante o verão e alguns feriados, como por exemplo, o Carnaval.

Embora a HQ “A Volta” seja adequada a idade de estudantes do ensino médio, as leituras efetuadas pelos estudantes serão bastante subjetivas. Tais subjetividades são atribuídas às individualidades de vivência frente às realidades sociais diferentes, ou seja, cada um carrega uma história de vida e de leitura, além de, eventualmente, não conhecer nada sobre as discussões presentes na HQ.

Conforme as orientações curriculares para a disciplina de Física da Secretaria de Estado da Educação do Paraná, a HQ é um instrumento mediador entre aluno-aluno e, entre aluno-professor, que permitirá que novas questões e discussões surjam a partir das diferentes leituras.

Inicialmente, propõe-se uma leitura livre da HQ pelos estudantes, momento fundamental para a sua compreensão. Essa leitura pode ser individual, ou, ao mesmo tempo por todos os presentes.

A mediação do professor é fundamental nessa leitura e, a sequência de aulas pode ser iniciada e terminada com a leitura da HQ. Após o trabalho do professor com os conteúdos, espera-se que os estudantes reelaborem suas leituras, agora ressignificadas pelo embasamento em conceitos da Física.

Espera-se que os estudantes apontem, ao menos, dados numéricos após leitura da HQ.

Dados obtidos da leitura da HQ:

a. comprimento do carro: 4m
b. comprimento do caminhão: 25m
c. velocidade do caminhão: 60 km/h
d. velocidade do carro no momento em que a mãe faz o comentário da necessidade da ultrapassagem: 80 km/h (indicada no velocímetro do carro).

Algumas referências para leitura pelo professor:

1 LEITE, Á. E. **Leitura no ensino de física:** Concepções, sentidos, possibilidades e dificuldades segundo o olhar dos professores. (Dissertação de mestrado) Curitiba: UFPR, Programa de Pós-Graduação em Educação.

2 MARINHO, E. S. **Histórias em Quadrinhos:** a oralidade em sua construção. Disponível em: http://www.filologia.org.br/viiicnlf/anais/caderno12-11.html. Acesso em: 03/05/2011.

3 TESTONI, L. A.; SANTOS, M. L. V. Dos. **Histórias em Quadrinhos e o Ensino de Física:** uma proposta para o ensino sobre inércia. Disponível em: www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/sys/.../T0229-1.pdf. Acesso em: 27/04/2011.

2º MOMENTO: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS PELOS ESTUDANTES

Após a leitura se sugere dividir os alunos em grupo para que discutam e estabeleçam uma forma de resolução para a situação problema proposta. Em seguida, cada grupo apresenta a sua solução para toda a sala, momento em que surgirão novas questões e discussões.

Desta leitura, possivelmente surgirão hipóteses elaboradas que permitirão buscar a solução para a questão proposta: “*Será que elas conseguirão ultrapassar o caminhão e evitar um acidente*?” e a compreensão dos estudantes frente a essa questão. E, dessa forma, o professor poderá acompanhar a aprendizagem e interferir se necessário, inclusive para lançar novos questionamentos e provocar dúvidas. O objetivo é despertar o interesse do aluno para a busca da solução, pois, conforme nos coloca a epígrafe do texto de Polya, o estudante precisa querer resolver a questão.

Certamente, os estudantes, considerando que tenham os pré-requisitos mencionados, terão ao menos uma ideia de explicação, para responder a questão proposta, ainda que talvez não seja a esperada.

No entanto, mesmo que já tenham tido contato com a segunda lei de Newton, é bem provável que associem a causa do parar do carro (frenagem) a uma ação exclusivamente interna ao veículo, por exemplo, à ação de “pisar

no freio" pelo motorista. Nesse caso, não há consideração a esse conhecimento físico que explicita a necessidade de uma força externa para alterar quantidade de movimento, e, dessa forma, a velocidade do veículo.

Isso é esperado! Por exemplo, os professores Peduzzi; Peduzzi (In: Pietrocola, 2005), chamam a atenção para a tendência dos estudantes de identificar as equações que julgam relevantes à resolução e, de imediato, substituir valores numéricos, considerando isto o suficiente para resolver o problema, o que pode levar a soluções sem sentido.

Aí se exige um cuidado essencial do professor em incentivar e desenvolver novas maneiras de encarar e resolver problemas ou situações problemas pelos estudantes, conforme veremos a partir do 3º momento desta proposta de trabalho.

Por isso, o professor deverá estar atento àqueles alunos que, além de não interpretarem utilizando os pré-requisitos, apresentem concepções alternativas em relação à força e movimento. Nesse caso, provavelmente, suas ideais envolvem uma relação linear entre força e velocidade, que implica na existência de uma força para manter a velocidade do carro, sem, no entanto considerar as leis de Newton, por exemplo, a inércia.

Então, para que todos possam participar é preciso retomar estes conceitos, o que pode ser feito, por exemplo, acompanhando os grupos individualmente enquanto elaboram um possível caminho para a solução.

3º MOMENTO: DISCUTINDO AFIRMAÇÕES EXPLÍCITAS OU POSSÍVEIS INFERÊNCIAS DA HQ CONSIDERANDO A EXPOSIÇÃO DOS ESTUDANTES.

> "Se continuarmos com essa velocidade daqui a uma hora estaremos em casa" (Roberta, quadrinho 4)
> "A pista está muito escorregadia é melhor eu continuar andando a 60 km/h" (Motorista do caminhão, quadrinho 6)
> "Tenho que podar esse caminhão senão vou me atrasar." (Roberta, quadrinho 8. O velocímetro indica 80 km/h)

Tomando como referência os comentários acima. Vamos fazer as seguintes afirmações ou hipóteses:

1. O caminhão manterá a velocidade constante em 60 km/h durante todo o tempo da situação problema.
2. O carro de Roberta antes da decisão da ultrapassagem está a 60 km/h como o caminhão, e por isso, devido ao comentário do quadrinho 4, pode-se concluir que está a 60km de Curitiba.
3. Roberta já está realizando a ultrapassagem quando faz o comentário da necessidade de podar o caminhão.

A primeira afirmação é realizada para efeito de simplificação. Enquanto sobre a arquitetura da segunda hipótese, ressalta-se que é feita sob a intenção de direcionar a situação problema presente na HQ para uma configuração em que as leis de Newton sejam envolvidas para seu estudo.

Portanto, a partir das expectativas pedagógicas, como conteúdos e objetivos mostrados anteriormente, fazemos a configuração da situação problema, junto aos estudantes, que será nosso objeto de estudo.

Para realizar a ultrapassagem, Roberta precisará acelerar seu carro, pois supomos anteriormente que sua velocidade é igual a do caminhão. Sendo assim, a velocidade de 80 km/h ilustrada no velocímetro quando ela explicita a necessidade de podar o caminhão, pode ser assumida como a de ultrapassagem. Mas, não necessariamente precisa ser esta! Assim, é preciso fazer outra suposição sobre a velocidade do automóvel para a ultrapassagem, a qual faremos adiante.

Chamamos a atenção para a necessidade da realização de hipóteses sobre o a situação problema. Ela é a expressão que demonstra o trabalho científico de modelagem e obtenção do objeto de estudo dessa situação que terá a concentração para a retirada de informações com o fim de elaborar as explicações de seu comportamento.

Realizando tal processo com os estudantes – tornar a situação cotidiana em um objeto de estudo – o professor permite que eles experimentem o saber fazer do cientista, percebendo que esse objeto de estudo que é diferente da situação cotidiana, esta envolvida na complexidade e o primeiro em uma idealização ou aporte teórico consciente. Além disso, que percebam algo de extrema importância: um experimento científico, por ser um objeto de estudo não pode ser confundido com uma situação cotidiana!

Por que podemos fazer esta consideração? Temos que fazê-la?

Esses são questionamentos que o professor pode fazer aos estudantes e, propiciar um momento para que façam suas colocações. De imediato, provavelmente, eles considerarão o trajeto inteiro, Matinhos - Curitiba e utilizarão equações de velocidade.

Ressalta-se que o professor deve colocar para eles que a distância é muito grande[6] e, que não é possível saber nada sobre o movimento antes da referida fala de Roberta. Assim, somente lançando mão de simplificações e considerando esse momento da HQ, que podemos estabelecer uma posição inicial para o movimento do veículo. Ainda, por tratar-se de um problema aberto (não temos informação sobre intervalo de tempo, espaço percorrido, etc.) para resolvê-lo é preciso fazer hipóteses.

Para justificar esse posicionamento com os estudantes, sugere-se discutir as equações de velocidade e aceleração.

Velocidade e aceleração de um corpo em movimento

Sabemos que a velocidade de um objeto é encontrada pela razão entre o deslocamento ($\Delta \mathbf{x}$) e o intervalo de tempo (Δt) decorrido, uma vez que essa grandeza física mede a taxa de variação das posições do objeto em relação ao tempo, definida pela equação 1:

$$\mathbf{v} = \Delta \mathbf{x}/\Delta t \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Também, é preciso considerar que a velocidade ($\mathbf{v}$) é uma grandeza física vetorial, isto é, fica determinada por um módulo, uma direção e um sentido (utilizamos negrito para vetores). Assim, como ela é deduzida a partir de outras grandezas, ao menos uma deve ser vetorial. Nesse caso, $\Delta \mathbf{x}$ é o vetor.

Evidentemente, podemos realizar o percurso Matinhos - Curitiba de várias maneiras e, certamente, a velocidade variará durante o trajeto. Assim, é de se supor que durante o percurso a velocidade ora aumente ora diminua, ou seja, apareça uma aceleração ($\mathbf{a}$), que é a taxa de variação da velocidade ($\Delta \mathbf{v}$) em relação ao intervalo de tempo (Δt).

$$\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v}/\Delta t \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Que tipo de força provoca tal aceleração?
Quais são as suas consequências no movimento do veículo?

Considerando os pré-requisitos necessários (Tabela 1), as perguntas acima podem desencadear as respostas esperadas. Por exemplo, a necessidade de uma força externa, o impulso provocado por esta força que varia a quantidade de movimento, a variação da velocidade devido a aceleração etc.

O objetivo é que o estudante perceba que não temos dados necessários para medir tal variação de velocidade e tempo. Dessa forma, inicialmente aproximaremos o movimento para um caso mais simples que é aquele onde a aceleração é nula e, nesse caso, a velocidade poderá ser calculada pela equação 1 sem levar em conta o caráter vetorial da velocidade, conforme figura 1.

É redundante dizer que, nesse caso, o movimento será considerado unidirecional. Para simplificar, utilizaremos o usual mapeamento do espaço percorrido por eixos coordenados para representar deslocamentos e intervalos de tempo, sem considerar a trajetória.

---

6 Esse é um dado não dito que pode ser obtido na Internet, por exemplo, no “Google maps” (endereço na rede: http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl): 110Km – PR 508.

Figura 1: Ilustração do movimento do carro na PR – 508. Fonte: GoogleMaps.

Após a discussão com os estudantes, surgem as hipóteses 1, 2 e 3.

1. Considera-se o trecho em estudo da rodovia PR – 508 retilínea, isto é, sem aclives, declives ou curvas consideráveis de forma que, em qualquer ponto onde os veículos se encontrem a força peso, devido à ação gravitacional, e a força normal, relacionada à reação da superfície à compressão, se anulem (para velocidades baixas);
2. Da posição inicial até próximo da decisão por ultrapassar o caminhão, a velocidade do carro foi constante e igual a 60Km/h e, nesse caso, a força resultante sobre o carro é nula. Assim, de acordo com a primeira lei de Newton, o corpo manterá um movimento retilíneo e uniforme (MRU);
3. Para iniciar a ultrapassagem a quantidade de movimento do carro varia, ou seja, o movimento deixa de ser uniforme, pois, conforme a segunda lei de Newton uma força resultante externa surge sobre ele acelerando-o no mesmo sentido do movimento.

Para chegar ao sistema representativo do movimento foram necessárias as considerações anteriores, e as hipóteses 1 e 2, a partir das quais pudemos supor que a força resultante sobre o carro, em qualquer momento, era nula. Sendo assim, de acordo com a lei da inércia ou primeira lei de Newton, o movimento mantém-se com velocidade constante e trajetória retilínea. Nessa condição, o veículo encontra-se a 60 km de Curitiba.

4º MOMENTO: ANALISANDO E FAZENDO CONSIDERAÇÕES PARA A POSSÍVEL ULTRAPASSAGEM

As discussões anteriores não nos permitem tomar qualquer decisão quanto à questão proposta pela HQ. No entanto, sua proposição visa levar os estudantes a perceberem a limitação do modelo baseado na substituição de valores em fórmulas para análise de um movimento aparentemente simples, trazendo a necessidade de aprofundar a análise utilizando o conhecimento físico e a consideração de outras formas de resolução que não privilegiem apenas a substituição de valores em fórmulas matemáticas.

Investindo, por exemplo, na resolução literal de problemas de enunciados fechados e abertos, o professor, pouco a pouco, vai capacitando o estudante a desenvolver novos e importantes hábitos em relação à resolução de problemas. (PEDUZZI; PEDUZZI. In: PIETROCOLA, 2005, p. 121).

Note que a HQ envolve três momentos distintos:

a. antes da ultrapassagem, quando Roberta e filha discutem quanto tempo falta para chegar em Curitiba (quadrinhos 1 a 5), já discutida anteriormente;

b. a decisão pela ultrapassagem, momento que o velocímetro do carro marca 80Km/h (quadrinho 6), cuja posição não sabemos e;
c. a necessidade da frenagem, pois mãe e filha não enxergaram a placa de alerta do deslizamento a 300m de onde elas se encontram quando iniciam a ultrapassagem.

A decisão pela ultrapassagem:

Quando Roberta explicita a necessidade de realizar a ultrapassagem do caminhão, consideramos que ela já está realizando-a. Neste momento, a velocidade do carro indicada no velocímetro é 80 km/h (quadrinho 8), donde se conclui que houve uma variação de velocidade, pois afirmamos anteriormente que a velocidade inicial do carro era igual a 60 km/h.

Lembrando que a velocidade é uma grandeza vetorial, ainda que não houvéssemos feito afirmação acima, e por isso concluíssemos que o módulo não varia, mesmo assim, haveria uma mudança de direção e, portanto, da velocidade, uma vez que inicialmente elas se encontravam atrás do caminhão.

Novamente, o estudante pode propor resoluções mais próximas dos hábitos desenvolvidos pelos livros didáticos e reproduzidos na maioria das aulas de física, conforme quadro a seguir.

Analisando a ultrapassagem

Inicialmente, calculamos a velocidade relativa (V) do carro em relação ao caminhão. Isto significa utilizar o caminhão como referencial do movimento. Essa velocidade, supondo que a velocidade do carro se mantenha igual a 80km/h, será igual a:

$$V = v_{carro} - v_{caminhão} = 80 - 60 = 20 \text{ km/h (Eq. 3)}$$

O início da ultrapassagem acontece quando o ponto d_c (dianteira do carro) estiver na mesma linha que o ponto T_c (traseira do caminhão), considerando a distância de segurança, isto é, o ponto crítico de distância entre o carro e o caminhão para que o início da ultrapassagem aconteça com segurança. Por outro lado, ela termina quando o ponto D_c (dianteira do caminhão) estiver na mesma linha que o ponto t_c (traseira do carro).

Figura 2: A ultrapassagem do caminhão.

De acordo com o artigo 29, Inciso II, do Código de Trânsito Brasileiro (CTB):

> o condutor deverá guardar distância de segurança lateral e frontal entre o seu e os demais veículos, bem como em relação ao bordo da pista, considerando-se, no momento, a velocidade e as condições do local, da circulação do veículo e as condições climáticas

Assim, durante a ultrapassagem o carro percorre uma distância equivalente a soma do comprimento do caminhão (25m) mais o seu próprio comprimento (4m), acrescido da distância de segurança, ou seja, a distância percorrida pelo veículo durante a ultrapassagem é:
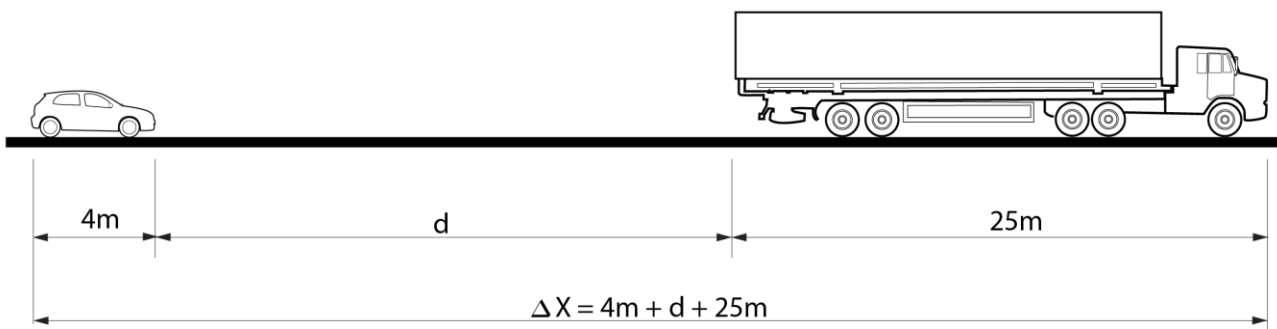
Figura 3: ultrapassagem do caminhão

$$\Delta x = d + 29m \text{ (Eq.4)}$$

Onde *d* é a distância de segurança, de acordo com o artigo 29,II.

d é composta de duas distâncias de segurança, d_1 e d_2. Sendo a primeira a distância de segurança da traseira do caminhão e a segunda da frontal do caminhão. Assim:

$$d = d_1 + d_2$$

O professor deve mostrar aos alunos que a solução poderia ser resolvida combinando as equações 1 e 3 na condição das hipóteses 1 e 2 do 3º momento.

De que depende a distância de segurança *d*?
Em que condição a ultrapassagem é possível?

Essas questões podem desencadear novas discussões com os estudantes de maneira tal que promova a participação deles, fato que devemos buscar para tornar o ensino mais significativo para os estudantes gerando uma compreensão dos conceitos e preparando-os para atitudes cidadãs.

Sabemos que uma das condições para ocorrer a ultrapassagem é que a velocidade do carro seja superior a do caminhão, porém não sabemos pela HQ o limite para essa velocidade. Apesar da incompletude das informações, considerando o contexto da HQ e a fala de Roberta podemos supor que a ultrapassagem é possível.

Então, uma alternativa seria avaliar algumas hipóteses, considerando, por exemplo, as velocidades máximas e mínimas para automóveis e caminhões nas vias, segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB - Lei nº 9.503, de 23 de setembro, 2008), artigos 61 (define a velocidade máxima permitida nas vias) e 62 (define a velocidade mínima nas vias). Dessa forma, a velocidade do caminhão estaria num valor entre 40 e 80 km/h e a do automóvel entre 55 e 110km/h.

Utilizar o CTB é interessante, pois, a educação para o trânsito também deve fazer parte do ensino de física, a disciplina não pode ficar alheia às questões que fazem parte da sociedade uma vez que, em conjunto com outras disciplinas, também contribui para a formação cidadã.

No entanto, também não nos é dado o intervalo de tempo gasto na ultrapassagem. Mas, se desde o início já sabíamos que não seria possível resolver a questão proposta por este caminho o leitor deve estar se perguntando: porque insistimos nele?

Ainda assim, insistimos nas discussões anteriores porque queremos despertar nos estudantes um novo olhar para a resolução de problemas de física, conforme já colocado, que considere o quadro conceitual no qual a situação problema está inserida. Essas discussões, lembramos, têm como objetivo levar os estudantes à percepção da necessidade da teoria física para analisar uma situação real como é o caso de ultrapassagem de veículos em rodovias.

Dito de outra forma, eles precisam perceber a limitação de um determinado modelo, por exemplo, o da cinemática na interpretação de situações reais, pois, a questão proposta pela HQ não se resolve apenas substituindo valores em fórmulas matemáticas, ao contrário, exige uma interpretação mais minuciosa e aprofundada, que considere a atuação de uma força externa, os conceitos de energia e trabalho, e o atrito entre superfícies, dentre outros, para se chegar a uma explicação plausível. O estudante não terá esta preocupação se o professor não estimulá-lo para tal!

O que temos até agora são algumas tentativas que buscaram estabelecer relações entre grandezas físicas envolvidas, mas que não possibilitou uma resposta concreta à questão, pois não considerou o atrito entre superfícies e o trabalho da força de atrito. Assim, o professor poderá optar por não realizar os momentos 2 a 4.

No entanto, além das justificativas já apresentadas para tal realização, eles também podem auxiliar numa revisão de conteúdos, o que contribui para que aqueles alunos que porventura não tenham os pré-requisitos necessários (conforme a tabela 1) possam acompanhar o desenvolvimento das aulas. Assim, julgamos importante a sua realização.

5º MOMENTO: A NECESSIDADE DA FRENAGEM:

Agora, vamos analisar a frenagem do veículo, que poderá ser necessária considerando o deslizamento a 300m do início da ultrapassagem, uma vez que, de acordo com a HQ, (quadrinho 8) mãe e filha não enxergaram a placa de alerta colocada nesse ponto.

Inicialmente, pode-se pedir aos estudantes que façam um esquema representativo das forças que atuam no veículo. Para isso, podem-se propor novas questões aos alunos, conforme o quadro a seguir.

Que força será a responsável pela diminuição da velocidade do carro ou, caso seja necessário, para pará-lo? Que fatores físicos interferem no seu módulo? Essa força é interna ou externa ao veículo?

Imagina-se que a representação da figura 4 é a mais próxima do que, possivelmente, os alunos que possuem os pré-requisitos necessários apresentariam. Em tal apresentação há a afirmação de que a força de atrito (F_{at}) seja a responsável pela frenagem e que sua intensidade é associada à força normal (N).
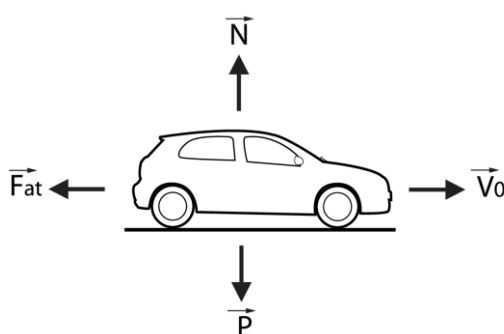
Figura 4: Diagrama das forças atuantes sobre o carro em movimento no início da frenagem

Mas, também é bem provável que alguns estudantes revelem em suas falas que a força que faz o carro parar é aquela exercida pelo motorista ao acionar os freios, associando ou não ao atrito.

Pois, os alunos estão acostumados a tomar conhecimento sobre atrito de forma aligeirada, tal qual o livro didático o trata, daí porque é importante, neste momento, o professor retomar as discussões sobre o atrito e a sua natureza eletromagnética.

Uma coisa interessante no acoplamento por atrito, que vamos discutir adiante, que é o caso dos veículos, é que eles atuam no sentido de alterar velocidades angulares e não lineares. Dificilmente os alunos farão essa consideração se o professor não o fizer.

Frenagem do veículo

Como Roberta não viu a placa de alerta, supõe-se que a frenagem seja necessária. No entanto, ela não é imediata, pois, o motorista leva um tempo para perceber e reagir a obstáculos encontrados nas vias, que depende de vários fatores como a visibilidade local, aspectos psicológicos do condutor, tipo de obstáculo, dentre outros. Então, para analisar a frenagem é preciso considerar o intervalo de tempo que ela levará para perceber o obstáculo (Δt_p) apresentado ao veículo, pensar na reação que tomará (Δt_r) e o tempo efetivo de atuação física da frenagem (Δt_f).

Assim, o veículo percorre uma distância durante a percepção de Roberta (Δx_p) em um intervalo de tempo Δt_p. E, durante a reação, um tempo Δt_r e uma distância de reação Δx_r, conforme a figura abaixo. A frenagem física efetiva ocorrerá imediatamente após o acionamento do dispositivo responsável por este fim e o veículo percorrerá uma distância de frenagem efetiva (Δx_f) num intervalo de tempo Δt_f.
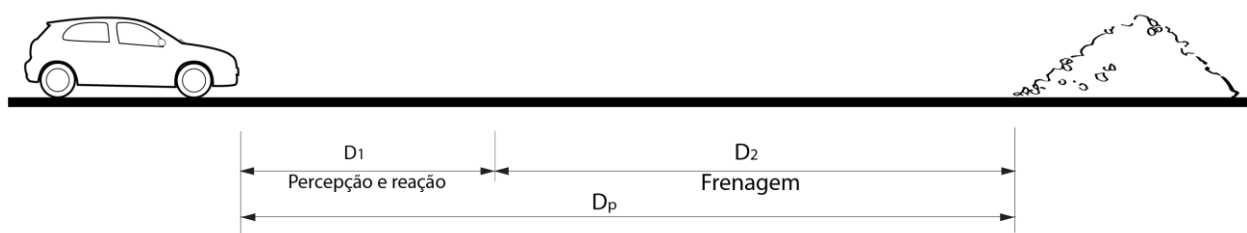
Figura 5: Distância total da frenagem de veículos.

Então, podemos considerar as seguintes grandezas:

$\Delta t_{tot} = (\Delta t_p + \Delta t_r) + \Delta t_f$ é o intervalo de tempo total gasto na frenagem que corresponde ao tempo da percepção e reação somado ao tempo gasto na frenagem física. Pode-se estimar que o tempo de percepção somado ao tempo da reação resulte 2s.

$\Delta x_{tot} = (\Delta x_p + \Delta x_r) + \Delta x_f$ é a distância total de frenagem considerando o intervalo de tempo Δt_{tot}. Esse valor corresponde a mínima distância que o veículo percorre durante o processo de frenagem. Sendo a primeira parcela do lado direito da igualdade D_1 e a segunda D_2.

Essa distância pode ser reescrita utilizando a função da velocidade em relação ao tempo sob a condição de uma aceleração constante, conforme a seguir. As grandezas vetoriais nas equações, com exceção do tempo, estão em módulo.

$$\Delta x_{tot} = (\Delta x_p + \Delta x_r) + V_0 \, . \, \Delta t_f - (a. \, \Delta t_f^{\,2})/\,2, \quad \text{(Eq. 5)}$$

$$\text{onde,} \quad \Delta x_f = V_0 \, . \, \Delta t_f - (a. \, \Delta t_f^{\,2})/\,2 \quad \text{(Eq.6)}$$

V_o é a velocidade do carro no momento em que inicia o processo de frenagem efetiva, ou seja, imediatamente quando começa a atuação da força de atrito (veja figura 4). A aceleração é negativa, por se tratar da redução da velocidade inicial do veículo que é considerada progressiva (positiva) e, para este efeito, o sentido da aceleração deve ser oposto ao da velocidade.

Quando supomos a aceleração como constante, que é o equivalente a considerar a aceleração média provocada por uma força externa média, estamos impondo um comportamento físico hipotético ao veículo, já que na situação de frenagem real a aceleração do veículo raramente assume este comportamento.

Importante!

- Impor tal condição faz-nos perder as possibilidades de inferência de informações físicas (quantitativas) do carro para instantes de tempo intermediários entre o valor mínimo e o máximo do intervalo de tempo da ocorrência da frenagem. Ainda assim, precisamos fazê-la para simplificar a análise física do problema e adequá-la ao nível do conhecimento matemático do ensino médio, porém sem perder a validade conceitual.

- Portanto, a análise é qualitativa, concentrando-se em valores médios como força média, velocidade média e aceleração média. Considere isto para todas as equações. Esse tipo de análise pode perder a capacidade quantitativa da dinâmica do veículo, mas permite-nos inferir limites físicos e impossibilidades para esse movimento, ou seja, compreendê-lo.
- Resumindo, nossos cálculos não nos permitem “exatidão” para descrever o movimento do veículo, mas possibilitam a compreensão da sua dinâmica, que significa a compreensão das possibilidades e impossibilidades inferidas através da teoria científica.

Agora aplicaremos a segunda lei de Newton, que exige a existência de uma força externa ao sistema (veículo) para alterar a sua quantidade de movimento. Essa alteração pode ser associada à aceleração média indicada acima. Assim, tal força é a responsável pela aceleração ou a variação da quantidade de movimento do automóvel.

Se soubermos tal **força externa média (F_m)** podemos enunciar a 2ª lei de Newton, relacionando esta força com o tempo de interação dela com o sistema:

$$F_m . \Delta t_f = m . \Delta V \quad \text{(Eq. 7)}$$

Daí, podemos isolar o tempo, Δt_f, e aplicar na equação 6 para obter Δx_f.

Mas, antes...

Que força é essa? Qual é a sua natureza, considerando que ela será a responsável pela diminuição da velocidade do carro ou até de pará-lo, caso seja necessário?

Professor, as considerações do texto frisadas como importantes trarão como resultado o modelo físico que será utilizado para resolução, por isso, é importante discuti-la com o estudante antes da continuação desta sequência.

As últimas questões postas no quadro anterior servirão para manter os estudantes no debate e, sutilmente, forçá-los a participar. Esse proceder também possibilita o acompanhamento da aprendizagem dos alunos.

A resposta esperada, devido à extensiva propagação em meios de comunicação ou livros didáticos de física, os quais os alunos devem ter contato, é que seja a força de atrito. Mas como? E a sua natureza? Ela é externa como exigem as leis de Newton? A origem do atrito responsável pela frenagem é a mesma do que permite a locomoção do veículo?

Tais questões colocadas a partir das respostas dos alunos os desafiam a fornecer explicações sobre seus conceitos. É a partir daí que irão expor suas fragilidades conceituais!

Os meios de comunicação, dificilmente, fornecem explicitamente e de forma acessível os conhecimentos que permitem as explicações implicadas. Muitos desses conhecimentos fazem parte do quadro conceitual da Física e exigem a articulação com conhecimentos de diversas disciplinas o que é privilégio exclusivo da Escola. Pois, é ela o lugar que contempla profissionais especialistas em saberes disciplinares e, onde o conhecimento especializado é uma de suas principais premissas para o seu compromisso de formação dos estudantes.

Quando um problema é estudado a fundo, contextualizado, dificilmente não exigirá a dedicação e a interação dos saberes de todos estes professores. Bom, como já sabemos é a força de atrito a resposta unânime esperada dos estudantes para a questão da força responsável pela frenagem do automóvel.

Mas, é preciso entender como acontece fisicamente esse processo e, para isto, é necessário discutir o comportamento dessa força. Isto implica em estudar a interação da força de atrito ao sistema e a interação das superfícies pelas quais se dá sua origem. Portanto, vamos primeiramente discutir o atrito.

O texto a seguir, apresenta aos estudantes o fenômeno do atrito a partir do sistema de freio de um carro, pois, esta análise é importante para responder a questão proposta inicialmente quanto à frenagem do carro de Roberta. Sua leitura é importante porque traz questões conceituais relativa ao fenômeno físico não encontrado em livro didático.

O ATRITO ENTRE SUPERFÍCIES: REGIME DE ACOPLAMENTO E A DIRIGIBILIDADE

O fenômeno do atrito

Os físicos acreditam que são quatro as interações fundamentais na natureza: a gravitacional, a eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte. Essas forças são as explicações que temos para descrever as interações entre as partículas constituintes da matéria e, todas as forças conhecidas são delas derivadas.

Entre duas superfícies em contato surgem forças devido à atração molecular entre as partículas dos dois sólidos, as quais podem apontar em qualquer direção. Para estudá-las, normalmente, separamos estas forças em duas componentes: uma perpendicular às superfícies de contato e outra tangencial às superfícies em contato.

A resultante perpendicular é denominada força de reação normal e atua no sentido de separar os corpos que se comprimem entre si.

A resultante tangencial é chamada força de atrito. Portanto, o atrito não é uma força, mas a resultante das forças tangenciais sobre as superfícies dos sólidos em contato e, é mediada pela 3ª Lei de Newton, a Lei da Ação e Reação que você já conhece.

Mas qual a natureza das forças de atrito?

O atrito ainda é pouco compreendido. Para se ter uma ideia, as leis do atrito sólido que conhecemos hoje são as mesmas elaboradas por Coulomb (1736-1806) e da Vinci (1452-1519) os quais não consideraram a adição de nenhum fluido entre os sólidos. Do ponto de vista microscópico, o que se sabe é que o fenômeno do atrito decorre da atração intermolecular, isto é, elétrica entre os sólidos. Portanto, sua natureza é eletromagnética.
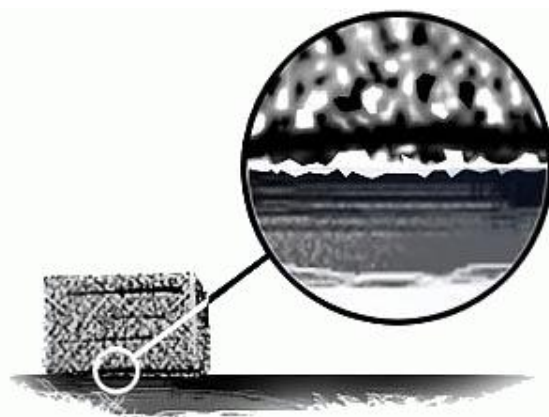
Figura 6: Atrito sólido entre dois sólidos em contato.
Fonte: www.fazendomatematica.com/2010/11-força-de-atrito-uma-introdução.htm

A figura 6 mostra dois sólidos em contato. Observe no destaque microscópico que embora esses sólidos em contato aparentemente sejam lisos, suas superfícies apresentam rugosidades através das quais as superfícies se tocam.

As forças de contato são distribuídas nessas áreas de contato, isto é, nos vários pontos em que existem rugosidades nestas superfícies. (Lembra-se da pressão, é semelhante, pois ela também é uma força distribuída através das áreas de contato). O que fazemos é representar, tanto a resultante perpendicular, a força normal, como a resultante tangencial, a força de atrito, em um único ponto.

Se a área desses picos for pequena a força normal será grande o suficiente para nivelar esses picos, ou seja, tornar a superfície mais plana, fator que contribui para aumentar o atrito. Assim, a força de atrito ($\mathbf{F_{atrito}}$) aumenta conforme o aumento da área de contato microscópica que, por sua vez, depende da intensidade da força normal (**N**), sendo assim, é proporcional a ela, podendo ser determinada pela equação:

$$\mathbf{F_{atrito}} = \mu \times \mathbf{N} \quad \text{(Eq.8)}$$

O coeficiente de atrito (μ) estabelece a proporcionalidade entre a força de atrito e a força normal, sendo seu valor dependente das superfícies dos materiais em contato.

Quando dois sólidos fazem contato, pode ou não haver movimento relativo entre as superfícies em contato, surgindo ou não uma velocidade de deslizamento de um sólido em relação a outro. Essa velocidade é que determinará o tipo de atrito.

Como veremos adiante, a utilização da igualdade na equação 8 não é apropriada, mas a decisão de colocá-la foi pesada pela simplificação.

Ressalta-se que só podemos esperar o fenômeno de atrito a um conjunto em análise sob ação de uma força externa ou um torque. Você saberia dizer por quê?

Atrito estático

Considere dois blocos A e B apoiados um sobre o outro conforme a figura ao lado.
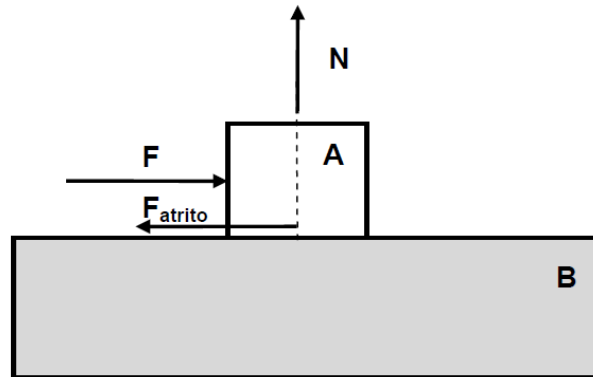
Figura 7 – Ilustração da força de atrito para dois blocos em contato com a ação da força **F** ao bloco superior. Fonte: Autoria de Fabio Luiz de Souza.

Considerando que os dois blocos estejam no mesmo estado de movimento inercial ($\mathbf{V_A} = \mathbf{V_B} = \mathbf{V}$) e, portanto, em equilíbrio, o qual pode ser o de repouso ($\mathbf{V} = 0$) ou não ($\mathbf{V} \neq 0$). A resultante das forças tangenciais ao plano de contato entre os dois blocos é:

$$\mathbf{F_{resultante}} = \mathbf{F_{atrito}} - \mathbf{F} = \mathbf{0} \quad \text{(Eq. 9)} \quad \text{(Nula na condição de equilíbrio)}$$

Portanto,

$$\mathbf{F_{atrito}} = \mathbf{F} \quad \text{(Eq. 10)}$$

A força de atrito, ilustrada na figura 7, é uma oposição a ação da força **F**, no entanto, não é apropriado conceitualmente afirmar que **F** e $\mathbf{F_{atrito}}$ sejam forças de ação e reação no que diz respeito à 3ª lei de Newton (como muitos livros didáticos o fazem). Pois, a lei da ação e reação faz duas exigências:

- As forças de ação e reação devem agir em corpos distintos, ou seja, essas forças não podem atuar no mesmo corpo, pois, para ser uma força de ação, as leis de Newton exigem que ela seja oriunda de fonte externa! No caso, **F** e $\mathbf{F_{atrito}}$ atuam no mesmo corpo e, portanto, a segunda não pode ser reação da primeira.
- Que os módulos das forças de ação e reação sejam iguais, com sentidos opostos e mesma direção. O que nem sempre ocorre com o caso do atrito! Por exemplo, se **F** fosse aplicada na direção e sentido de puxar o corpo B, então apareceria $\mathbf{F_{atrito}}$ no corpo A no mesmo sentido e direção de **F**.

Quando não existe deslizamento entre os pontos de contato das superfícies dos blocos, que implica em $\mathbf{V_A} = \mathbf{V_B}$, a velocidade relativa de deslizamento de um sólido (ou dos pontos de contato) em relação ao outro é nula e, nesse caso, o atrito entre eles é chamado de ***atrito em regime estático*** ou, simplesmente, ***estático***. Cuidado! Pois, o nome estático se refere a velocidade relativa nula entre os sólidos e não sua condição de movimento, ou seja, não é exigido um repouso absoluto.

O atrito estático varia de um valor nulo até um valor máximo, e seu valor é proporcional a força normal da forma mostrada na equação 8:

$$\mathbf{F_{atrito}} \leq \mu_s \times \mathbf{N} \geq 0 \quad \text{(Eq.11)}$$

Onde μ_s é o coeficiente de atrito no regime estático.

Assim, há um limite para a equação 10 ser válida. Se variarmos o valor de F, a partir de zero e ir aumentando gradativamente, haverá um instante em que **F** será maior que $\mathbf{F_{atrito}}$. Quando isto acontece, o equilíbrio indicado pela equação 9 é quebrado.

A força de atrito estática sempre se opõe ao surgimento de uma velocidade relativa de escorregamento de um sólido em relação ao outro, por isso, é adequado afirmar que ela é uma força de restauração do equilíbrio estático, como a lei de Hooke[7]. Mas, o escorregamento só pode ser evitado até um valor máximo oferecido por esta força. Portanto, a condição da equação 10 só pode ser mantida até:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F_{atrito}} = \mu_s \times \mathbf{N} \quad \text{(Eq. 12)}$$
, que é a máxima intensidade do atrito estático.

Um experimento simples de nosso cotidiano que podemos recorrer para servir como ilustração, é o de arrastar algum objeto pesado como um móvel doméstico. Temos a sensação que para arrastá-lo precisamos vencer primeiramente uma força de resistência que é a força máxima de atrito estática.

É importante observar que consideramos os sólidos perfeitos e rígidos, ou seja, os contatos são pontuais (através de um ponto ou uma linha) e os sólidos são perfeitos e indeformáveis!

Assim, podemos afirmar outra coisa importante: você já sabe que o trabalho produzido por uma força produz um deslocamento no corpo sobre o qual essa força atua. Assim, se não ocorre o deslizamento do sólido sobre uma superfície, então a força de atrito não realiza trabalho, e não ocorre perda de energia por atrito!

Atrito cinético

Quando for possível definir uma velocidade relativa de escorregamento não nula entre os pontos de contato das superfícies de um sólido em relação ao outro dizemos que o atrito é **cinético** ou de **regime cinético**. Nesse caso, os sólidos deixam de ser perfeitos, mas deformáveis.

O sentido desta força é sempre contrário ao sentido da velocidade relativa de escorregamento ou deslizamento, apresentando-se como uma força resistiva. Mas, às vezes, essa força pode ter um sentido tal que atue no mesmo sentido do movimento de um corpo num dado referencial, nesse caso, sendo motriz do movimento.

Da mesma forma que o atrito estático, para determinar a força de atrito cinético é preciso fazer a mediação entre a resultante das forças normal e tangencial que atuam nos dois sólidos em contato.

$$\mathbf{F_{atrito}} = \mu_k \times \mathbf{N} \qquad \text{(Eq.13)}$$

O coeficiente de atrito cinético μ_k para os sólidos é sempre menor que o estático. Por consequência, se tomarmos o exemplo da figura 7, a intensidade do atrito cinético entre este par de corpos é sempre inferior a intensidade do atrito estático. E, voltando ao exemplo do arraste de um móvel doméstico, é por isso que percebemos uma queda no esforço de arrastá-lo quando este inicia o movimento.

No caso do atrito cinético, ocorre um deslocamento entre as superfícies e a força de atrito realiza um trabalho sobre o sólido em que atua, ocasionando o aquecimento do mesmo. Percebemos isso com a experiência banal de esfregar as mãos ou a borracha ao apagar uma anotação a lápis.

Para analisar:

Provavelmente, você já leu em seu livro didático, ou outros materiais, que o atrito estático surge na eminência do movimento e que ele atua sempre no sentido contrário ao movimento de um sólido sobre uma superfície.

1 *Por exemplo, na figura 6, suponha que o bloco sobre a superfície seja puxado para a direita com uma força F, qual seria o sentido da força de atrito, caso ela exista?*
2 *Agora, suponha que um bloco 2 seja colocado em cima do bloco da questão anterior (figura 6) e, que a mesma força F seja aplicada ao conjunto. Nesse caso, caso existiria o atrito no bloco 2, o que poderíamos afirmar sobre sua intensidade, direção e sentido?*
3 *Imagine que você esteja em uma sala com uma porta aberta para outro cômodo. Uma corda vinda deste*

---

[7] A lei de Hooke, em homenagem ao físico Robert Hooke (1635 – 1703), refere-se ao comportamento da força de restauração gerada por um corpo sob ação de uma força externa que lhe causa deformação, esta força é conhecida como força de tensão em regime linear. Exemplo: A força gerada quando esticamos um elástico.

cômodo, que lhe é acessível, está ligada a um móvel bastante pesado. A sala que você se encontra tem atrito, mas a do móvel não. Neste caso, como seria a sua sensação de esforço ao puxar a corda para arrastar o móvel? Quando apareceria esta sensação? Haveria a exigência de uma força mínima para o móvel começar a se deslocar?

Agora que já discutimos a força de atrito e já conhecemos o seu comportamento e as variáveis envolvidas na sua magnitude, vamos responder a duas questões feitas acima, relembrando: No caso do automóvel, a força de atrito é externa? A origem do atrito responsável pela frenagem é a mesma que permite a locomoção do veículo?

Sabemos pela teoria newtoniana que a força responsável pela aceleração do carro e sua locomoção deve ser aplicada por um corpo externo.

No caso do veículo, ao acelerar (no sentido cotidiano: aumentar a velocidade), o motor através de um mecanismo interno ao veículo, aplica uma força à roda que, por sua vez, transmite a mesma ao solo em que está em contato. Consequentemente, o solo responde (lembre-se da 3ª lei de Newton!) com uma força de atrito que é responsável pela aceleração do veículo. Veja a ilustração.
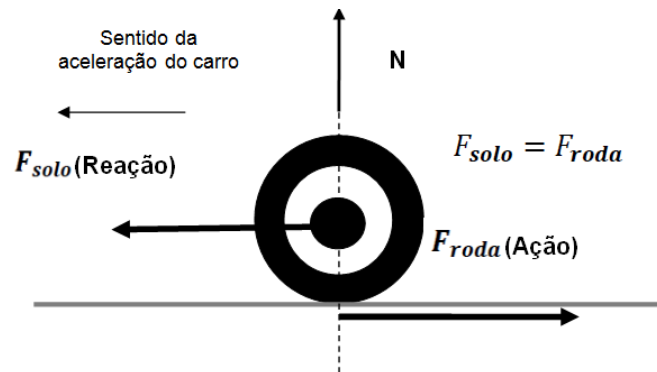
Figura 8 - Ilustração da interação entre roda e a superfície da pista. Fonte: Autoria de Fabio Luiz de Souza.

Observe que a força (F_{solo}) responsável pela aceleração (aumento da velocidade) do carro é o atrito da superfície com a roda (pneu), chamada popularmente de *tração*. Essa força é uma reação a força aplicada pela roda, e como se trata de atrito, entendendo seu comportamento, entenderemos também como ela se comporta. Quanto maior a tração obtida, maior será aceleração do automóvel. Assim, os cientistas e engenheiros concentraram, e ainda concentram seus estudos com o objetivo de aumentar essa tração, nos quais um dos fatores fundamentais envolvidos é a aderência do pneu.

Como vimos anteriormente, por se tratar de força de atrito, essa tração tem limite e não pode responder a qualquer intensidade que o motor imprima ao solo através da roda. Quando $F_{roda} > F_{solo}$ a roda escorrega e a tração fornecida é originada de um atrito em regime cinético. Nesta situação, ouvimos o som do corriqueiro "cantar pneus" e, como o atrito cinético tem intensidade menor que o estático, a aceleração adquirida pelo veículo é menor.

Perceba que o parâmetro principal para qualificar um pneu como eficiente é o desempenho de sua aderência a superfícies submetidas a intempéries diversas. O conjunto de superfícies é delimitado pelos objetivos ao qual o automóvel é projetado. Por exemplo, veículos para *rali* recebem pneus para permitir trações em terrenos muito acidentados e com muita lama e chuva. Nesse caso, o pneu tem tanta importância que se colocássemos um pneu comum, para asfalto, em um veículo desse, ele não conseguiria percorrer terrenos com lama e seria extremamente perigoso!

Assista ao vídeo seguinte: Tipos de Pneus (Programa Auto Esporte) - Link: http://www.youtube.com/watch?v=AC4slbzMdig

Questões de exploração

1. *Você já percebeu a diferença entre os pneus de um trator, caminhão, jipes e outros veículos? Tente descobrir o motivo das necessidades dessas diferenças. Veja também as diferenças de preço de cada um.*
2. *Os pneus de fórmula 1 são lisos. Descubra o por quê.*

Devido ao comportamento da força de atrito, embora possamos melhorar em muito o coeficiente de atrito entre a superfície do pneu e a do solo, sempre haverá um limite de tração que podemos obter.

O processo de aceleração do automóvel é um mecanismo complexo. Aqui, não pretendemos tratar todos os detalhes da tecnologia e de toda a física envolvida, mas, de forma simplificada e reduzida, trataremos de um modelo físico válido para inferir o comportamento desse processo e os limites de possibilidades para o movimento do veículo.

Para nossa pretensão, precisamos discutir dois conceitos: o critério de eficiência de transferência de ***torque*** do motor para as rodas chamado de ***regime de acoplamento*** e a ***dirigibilidade***.

Mas antes, o que é torque?

Torque é a segunda lei de Newton para o movimento rotacional. Em outras palavras, é a o resultado de uma força externa aplicada responsável pela aceleração (no sentido da Física) adquirida por um objeto em seu movimento de rotação, ou seja, variação da velocidade de rotação. Assim, quando uma roda tem sua velocidade de rotação alterada dizemos que ela sofreu um torque.

Agora, voltemos ao tópico anterior. Se o torque é o causador da variação da velocidade de rotação e se isso ocorre pela mediação de uma força, o critério de transferência de torque deve ser identificado por estes dois parâmetros: aplicação da força *versus* variação da rotação. Para isto pode-se fazer o seguinte experimento conforme a figura abaixo:

Considere as setas (vetores) como forças **F** de mesma intensidade, mas com direções diversas de aplicação sobre o ponto P. Os pontos P e Q definem um segmento de reta ı que é o diâmetro da roda. Utilizamos a direção desse segmento que é normal a superfície da roda, como referência para medir os ângulos de aplicação das forças.
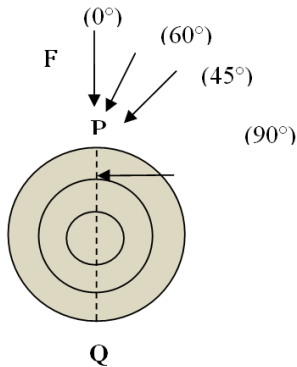
Figura 9 – Esquema de um experimento para qualificar o torque observando a variação da rotação versus o ângulo de aplicação da força. Fonte: Autoria de Fabio Luiz de Souza.

Realizando o experimento acima utilizando o próprio dedo ou a mão como meio de aplicação da força na roda, teremos uma noção de que a transferência de torque máxima, ou seja, aquela em que ocorre variação da velocidade de rotação máxima, acontece para o ângulo de aplicação de 90°, ou seja, na direção perpendicular a radial ou na direção tangente a circunferência da roda.

Para aplicar a força tangente à circunferência da roda, no ponto P, é preciso que haja **atrito** neste ponto de contato. Há mecanismos de transferência de torque que utilizam engates para o apoio da aplicação, por exemplo, sistemas de engrenagens que usam “dentição”. No entanto, é preciso deixar claro que todos estes sistemas necessitam do atrito. Portanto, o atrito é fundamental para a transferência de torque em engrenagens. Como exemplo, veja o sistema de engrenagem da bicicleta na figura 10.

Figura 10 – Sistema de engrenagem de uma bicicleta. Fonte: o autor

Questão de exploração:

A técnica do uso de engrenagem é um meio eficiente para a transferência de torque. Entretanto, o que torna possível tal transferência é o atrito. Você concorda com tal afirmação? Faça uma observação de sistemas de engrenagens e justifique sua resposta..

Podemos identificar dois critérios para a transferência máxima de torque chamada de ***regime de acoplamento***:

1. A força causadora do torque deve ser aplicada na direção tangencial a circunferência da roda.
2. Deve haver o maior atrito possível entre a superfície do meio aplicador da força e a superfície da roda ou do sistema de engrenagens ligado a ela.

Os dois critérios acima também podem ser utilizados para o caso do contato entre os pneus do carro e a superfície de rolagem (solo). O carro só conseguirá a aceleração máxima se maximizarmos a transferência de torque do solo as rodas, portanto, para a maior eficiência do automóvel é necessário que suas rodas e o solo estejam em regime de acoplamento.

Agora, vamos transpor as condições de regime de acoplamento para parâmetros de projeto de um carro. Para isso, consideraremos que o movimento do carro é governado pelas rodas e concentraremos nossa análise somente nelas.

Vimos na figura 8, que a força que o solo aplica nas rodas é tangencial a circunferência delas o que respeita o primeiro critério do regime de acoplamento. Sabemos que essa força é a do atrito entre o solo e o pneu.

O segundo critério exige que a tração nas rodas (força de atrito) seja máxima, e para isso os pneus tem um papel fundamental. Pelo comportamento da força de atrito que já conhecemos, a máxima intensidade é conseguida no regime estático. Em tal regime, a velocidade relativa entre as superfícies de contato é nula. Disso concluímos que para respeitar o critério II de acoplamento, a superfície de contato da roda deve estar em repouso em relação ao solo. O leitor talvez deva ter feito a pergunta: Mas, se o carro está em movimento, pode a roda estar em repouso em relação ao solo? Sim, é possível. E é por isso que você já deve ter ouvido que a roda é uma das maiores invenções da humanidade!

Vamos esclarecer isso na continuidade, por enquanto, aceite que o segundo critério pode ser satisfeito. E para sua satisfação, a roda não pode escorregar na superfície, ou seja, ela precisa girar sem “derrapar no solo” ou o que popularmente chamamos de “cantar pneu”.

Aí estão os parâmetros para garantir a eficiência da transferência de torque das rodas ao solo. Mas, as rodas transferem torque ao solo? Sim. Como foi dito anteriormente, torque é a segunda lei de Newton para a rotação, onde também deve ser válida a terceira lei (ação e reação) para a rotação. Isto significa que para a roda sofrer uma aceleração em sua rotação deve acelerar a rotação de um corpo externo com a mesma intensidade, porém, no sentido oposto. Como exemplo de ilustração, entre no link abaixo:

Vídeo 2 – Engrenagens e Torque – Ação e Reação no movimento rotacional.
Link: http://www.youtube.com/watch?v=Fmmr6Yp5HeQ

O leitor deve ter observado pelo vídeo acima, o que chamamos de simetria espacial para a rotação, que é a terceira lei de Newton para a rotação. Veja que para a engrenagem menor percorrer a maior precisa aplicar um torque a maior. O torque de rotação é o mesmo em intensidade para ambas, porém como o raio e a massa das engrenagens em contato são muito diferentes, a de maior grandeza adquire uma rotação angular menor.

Agora, voltamos ao automóvel. Comparando a ordem de grandeza do raio e da massa das rodas com o raio e a massa da Terra, o torque que um carro pode fornecer ao nosso planeta é extremamente pequeno, portanto, altamente desprezível. Nem que todos os carros do mundo, multiplicados várias vezes, arrancassem ao mesmo tempo poderiam mudar em uma ordem perceptível a rotação da Terra.

O *regime de acoplamento* é condição necessária para a eficiência de transferência de torque entre as

engrenagens e também entre os veículos e a superfície de contato, sendo o atrito o ponto chave para atingir esta condição. Portanto, para um carro funcionar perfeitamente, ou seja, com máxima eficiência na transferência de torque, ele deve estar nesse regime ou “engrenado” ao solo.

E a dirigibilidade? Bom, entende-se por dirigibilidade a condição física necessária para o motorista ter controle sobre o movimento do carro, ou seja, sobre todos os atributos da sua velocidade. Isto implica em controle sobre a transferência de torque, que já discutimos anteriormente, e também sobre a direção e o sentido da velocidade.

Como é alterada a direção do movimento de um veículo?

Com certeza, o leitor já sabe que é manuseando o volante. Entretanto, a responsável definitivamente pela alteração da direção do movimento é a interação entre pneu e a superfície.

Para mudar a direção, necessariamente, o carro descreverá uma curva, com maior ou menor grau de curvatura. Para isto, é necessária uma força conhecida na Física como *força central*. Veja a figura abaixo:
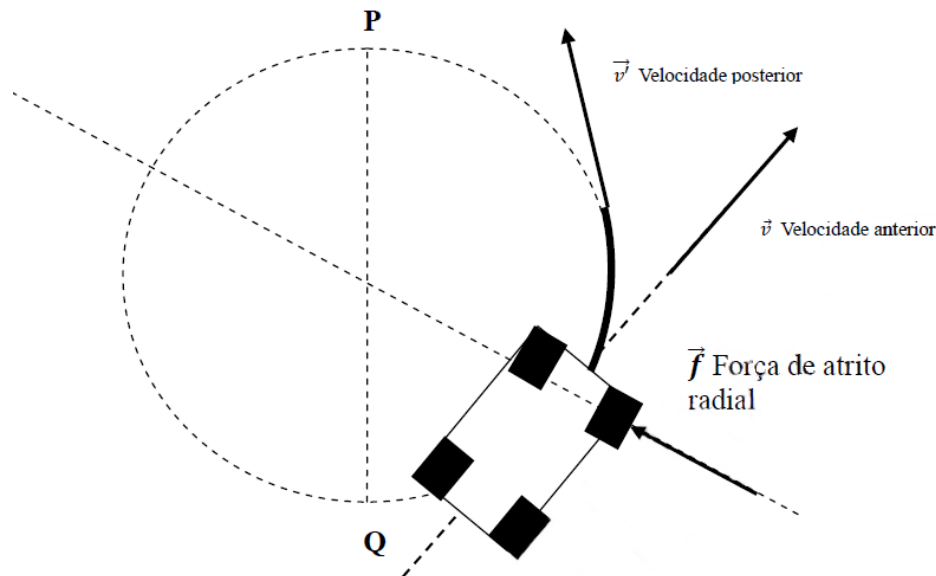
Figura 11 – Esquema de um carro realizando uma curva. Fonte: Autoria Fabio Luiz de Souza

A força central para um objeto em trajetória circular tem a forma matemática, em módulo:

$$F = m\,\frac{v^2}{r} \qquad \text{(Eq. 14)}$$

Onde:

- r é o raio da curva.
- m a massa do automóvel.

É importante frisar que a forma matemática apresentada é apenas uma descrição geral para uma força central causadora de um movimento circular, mas não necessariamente traz a informação da natureza física. Em outras palavras, o fato de você observar um objeto fazendo uma curva lhe permite concluir que há uma força central, mas não quem é a força, ou seja, a sua natureza, origem e possibilidades para seu comportamento.

Entretanto, sabemos que é a interação entre os pneus e a superfície, ou seja, o atrito, a origem da força central para o caso do carro. Assim, utilizando a equação 12, podemos escrever:

$$\boldsymbol{F_{atrito}} = m\,\frac{v^2}{r} \leq \mu_s\,.\boldsymbol{N} \qquad \text{(Eq. 15)}$$

Portanto, para que a curva seja realizada, ela precisa exigir uma força central consistente com o que a força de atrito pode fornecer, caso contrário, o carro irá derrapar e a curva não poderá ser realizada. Quando isto ocorre dizemos que o motorista perdeu a direção do veículo ou que o carro perdeu a *dirigibilidade*.

Como a máxima força de atrito é fornecida no regime estático, o coeficiente μ_s é utilizado na expressão acima. E disto decorre que para garantir que um automóvel seja dirigível suas rodas precisam estar sob o regime de atrito estático, ou seja, as velocidades relativas delas com a superfície de contato devem ser nulas, portanto, paradas em relação a ele.

Assim temos o critério da dirigibilidade para um veículo que é **manter o regime de atrito estático entre as rodas e a superfície**. Perceba que é o mesmo critério para o regime de acoplamento visto anteriormente.

Por isso, quando um carro, ao realizar uma curva, “canta pneus”, significa “Perigo estou perdendo a direção do carro!”. E fazer curvas deste modo é só para filmes!

Questões de exploração

1. *Por que os pneus “carecas” representam um risco à dirigibilidade dos carros? Supomos que todos os pneus de seu carro precisam ser trocados e você só dispõe de dois pneus novos, qual você trocaria? Os dianteiros ou os traseiros? Justifique sua resposta. Utilize o vídeo abaixo para auxiliar sua reflexão: Vídeo 3 – Troca de pneus (Programa Auto Esporte). Link: http://www.youtube.com/watch?v=mQsBDZaQUgs*
2. *Quem tem maior facilidade para realizar curvas veículos pesados ou leves? Justifique sua resposta.*
3. *Pesquise o efeito da inclinação da rodovia para a realização de curvas por veículos.*

Como, com o veículo em movimento, as rodas podem estar em repouso em relação à superfície da rodovia?

Primeiramente, vamos focar nossa atenção em apenas uma roda do veículo e estender as conclusões a todas as outras rodas e, por fim, a todo o automóvel.

Vimos que para o automóvel desenvolver sua máxima eficiência de locomoção, ou seja, aproveitar ao máximo a tração que o motor pode fornecer as rodas, ele deve manter-se em regime de acoplamento. Tal regime exige que não haja velocidade relativa entre as superfícies da roda e da rodovia, portanto, a velocidade relativa deve ser nula.

Isto significa que a roda está parada em relação ao solo? Obviamente que não! Pois se isto fosse TOTALMENTE verdadeiro, o carro não sairia do lugar. O segredo está na velocidade relativa (instantânea). Vamos ver adiante.

O leitor deve se lembrar de que a velocidade de um móvel precisa ser medida em relação a um referencial. Fixado esse referencial, o utilizamos para extrair a informação sobre a variação da posição do móvel (distância percorrida) e relacionamos com a variação do tempo gasto para realizá-la, a fim de obter a velocidade. Portanto, dependendo do referencial escolhido podemos ter medidas diferentes de velocidade e, ainda, ressalta-se que é possível que nenhuma delas esteja incorreta!

Isso é possível devido a um princípio muito importante da Mecânica Clássica conhecido como o princípio da relatividade de Galileu, que invalida a ideia de uma medida de velocidade absoluta, consequentemente, de um referencial absoluto.

Resumindo, a velocidade de um móvel é sempre uma medida relativa!

Voltando a roda, vejamos a ilustração abaixo:
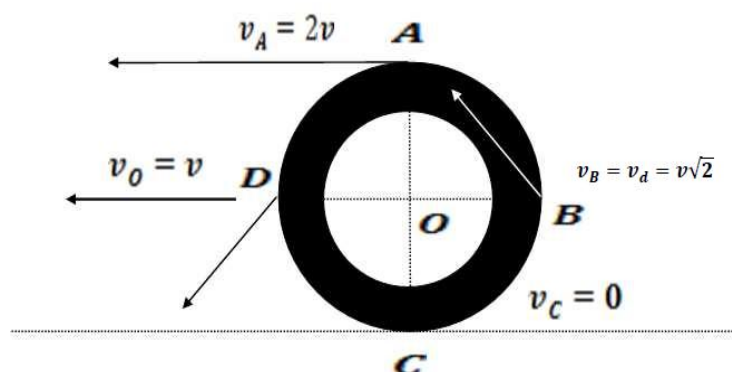
Figura 12 - Roda em regime de acoplamento. Observe que a velocidade do centro (eixo da roda) é igual à velocidade do veículo. Fonte: Autoria Fabio Luiz de Souza.

A figura 12 apresenta as velocidades relativas de cinco pontos O, A, B, C e D de uma roda, medidas em **um instante de tempo t**, em relação a um ponto da superfície de rolagem tomado como referencial. A referência escolhida é o ponto da pista em contato com a roda no instante t de medida das velocidades citadas, ou seja, em contato com o ponto ***C*** da roda. O carro está a uma velocidade $\boldsymbol{v}$.

Escolhemos esse ponto da pista como referencial por ser nosso interesse principal saber a velocidade relativa entre as superfícies de contato do par roda e superfície. Pois, é tal velocidade que serve como parâmetro para indicar se a roda está ou não em regime de acoplamento. E como sabemos, para esse regime, essa velocidade deve ser nula. Por isso, esperamos $v_C = 0$.

Mas, como as superfícies podem estar paradas em relação a si, se a roda está em movimento?

Bom, isto é explicado se considerarmos a natureza física vetorial da velocidade.

Se tivéssemos utilizado o ponto O, centro da roda, como referencial, as velocidades medidas, em um instante t qualquer, para os pontos ***O***, ***A***, ***B***, ***C*** e ***D*** seriam respectivamente: 0, v, v, v, e v. Portanto, a velocidade teria o mesmo módulo em cada ponto pertencente à circunferência da roda, o que não significa que fossem iguais, pois as direções seriam diferentes (Lembre-se, a velocidade é um vetor!).

Porém, como utilizamos o ponto em contato com ***C*** como referencial, a velocidade medida em qualquer ponto da roda é a soma vetorial dada por:

$$\boldsymbol{v_R} = \boldsymbol{v'} + \boldsymbol{v_O} \qquad \text{(Eq. 16)}$$

Onde:

- $\boldsymbol{v'}$ é o vetor velocidade de um ponto pertencente a circunferência da roda, medido em relação ao eixo central da roda, ponto ***O***.
- $\boldsymbol{v_O}$ é o vetor velocidade do eixo central medido em relação ao ponto em contato com a roda, assumido como referencial no instante t.
- $\boldsymbol{v_R}$ é o vetor velocidade medido em um ponto da roda em relação ao ponto em contato com ***C*** em um instante t.

Assim, para os pontos ***O***, ***A***, ***B***, ***C*** e ***D***, as intensidades de $\boldsymbol{v_R}$ serão, respectivamente, $\boldsymbol{v, 2v, \ v\sqrt{2}, 0}$ e $\boldsymbol{v\sqrt{2}}$. Observe que o método que utilizamos para chegar a equação 16 foi baseado na superposição de medidas feitas em dois referenciais diferentes, o ponto ***O*** e o ponto em contato com ***C***. Esse procedimento é possível sendo consequência do princípio da relatividade de Galileu.

Porque a velocidade no ponto ***C*** é igual a zero em relação a pista? Basta desenhar os vetores envolvidos na soma para obter $\boldsymbol{v_C}$. Vejamos:

(resultante da velocidade no ponto c)
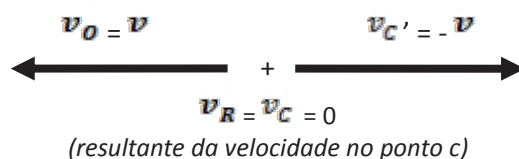
Figura 13 – Diagrama dos vetores velocidade que resultarão o vetor velocidade $\boldsymbol{v_C}$ em relação ao ponto da pista em contato com o ponto ***C*** e em um instante t.

Portanto, para cada instante t, as superfícies em contato (roda e pista) estão paradas em relação a si. Isto permite que a força de atrito que atua na roda seja de origem estática, como pede o regime de acoplamento. Assim, a roda em um todo, não está parada em relação à rodovia, mas somente a parte dela em contato com a seção da superfície da pista que assume o papel de referencial neste instante.

Uma comprovação desta conclusão é a marca que os pneus deixam ao deformar uma pista com a possibilidade de deformação, como uma estrada de terra ou areia. Se as rodas saírem da condição de acoplamento, ou seja, deslizarem, não é possível identificar as ranhuras dos pneus.

Voltando a frenagem e a questão em aberto. Será que a força de atrito que proporciona a frenagem e a tração tem a mesma origem?

A resposta a essa pergunta depende do mecanismo a qual o veículo será freado.

Anteriormente, vimos que a origem da força de tração é o atrito entre o pneu e a pista. Se utilizarmos como mecanismo de frenagem um dispositivo que bloqueia o movimento das rodas, travando-as, a velocidade da área da roda em contato com a pista que era nula na condição de acoplamento torna-se igual à velocidade do eixo da roda em relação à superfície. Assim, a roda escorrega na pista e o atrito entre a roda e o pneu será o cinético. Embora, neste caso a origem do atrito seja a mesma, resultado do contato entre as superfícies pneu e pista, o vetor força é diferente, sendo neste último caso de menor intensidade e com direção oposta ao primeiro.

Essa forma de frenagem é senso comum, ou seja, uma ideia que não faz parte do conhecimento físico que temos sobre o atrito, e, embora propalado pelos meios de comunicação, não faz parte de nenhum projeto de mecanismo de frenagem a séculos! Desde que o homem utiliza a carroça!

Podemos afirmar isso por dois motivos: o risco de quebra do dispositivo devido à exigência (numa velocidade alta) de uma força de grande intensidade para realizar a travagem e a perda de dirigibilidade devido à saída do regime de acoplamento.

Portanto, resta concluir que, embora possível, um mecanismo de frenagem que utiliza a “travagem” da roda não é desejável e que a fonte de atrito para o processo não pode ser a mesma da tração.

Além disso, se utilizássemos o mecanismo acima, ele seria extremamente dependente de fatores externos como a pista e as intempéries. Sendo assim, a possibilidade de um veículo com tal equipamento de participar de um *rali* seria nula.

Então, como seria possível obter um controle maior sobre o processo de frenagem do veículo, implicando em não usar o contato entre os pneus e a superfície como mecanismo de frenagem, ou seja, como frear o carro de outra forma?

Observe que desejamos frear o carro em qualquer lugar para qual ele puder rodar. Isto significa desejar essa possibilidade sob qualquer condição da pista, seja ela estando molhada, seca, com lama ou até mesmo suja de óleo. Portanto, uma solução é carregar junto com o veículo o dispositivo que pode freá-lo, ou seja, que ele seja interno.

Pois bem, não esqueçamos que a frenagem no contexto da Física é aceleração, pois nesse processo ocorre mudança de velocidade, o que implica necessariamente a existência de uma força externa!

O leitor pode achar paradoxal que tenhamos que pensar em um mecanismo de frenagem interno ao veículo, sendo que a força responsável pelo processo seja externa. Mas, é isto mesmo! Um dispositivo interno ao veículo significa que ele seja parte do mesmo, sendo projetado e produzido. A vantagem de concebê-lo é um ganho de independência, pelo menos relativa, frente aos fatores externos, permitindo ao motorista maior controle sobre o estado de movimento do veículo.

Aqui não nos ateremos a detalhes técnicos dos mecanismos de freios, pois são complexos e abundantes. Mas somente a alguns dos parâmetros físicos para essas tecnologias.

Antes de discutirmos os parâmetros mencionados acima, vamos primeiro responder a seguinte pergunta? É possível obter uma força externa, através de um mecanismo interno, para atuar sobre a velocidade tangencial da roda, reduzindo-a, ou seja, acelerando-a?

Sim, é possível.

Lembremos que as rodas são ligadas em seus centros por eixos que são fixos à carroceria do veículo. Essa ligação constitui outro problema técnico, não tratado aqui, que é resolvido pelo uso da tecnologia de *rolamentos*. Então, quando um automóvel está em movimento, a velocidade da carroceria é a mesma que a do centro de qualquer roda ou dos seus eixos, como foi mostrado anteriormente.

Agora, vamos nos concentrar somente em uma roda do carro e estender o pensamento a todas.

Supomos um carro à velocidade v em relação a uma pista. Neste caso, as velocidades de todos os pontos tangenciais a circunferência da roda também terão módulo v se o centro dela for utilizado como referencial para as medidas, como já foi mostrado anteriormente. Como o centro da roda e a carroceria estão ligados, então, as medidas das velocidades tangenciais dos pontos da circunferência da roda, realizadas a partir do eixo ou do centro dela, são as mesmas que se realizadas a partir da carroceria, pois essa está ligada ao eixo. Em outras palavras, quando em movimento, a velocidade do carro em relação à pista é a mesma da roda em relação ao carro, na condição de acoplamento!

Isso implica que se colocarmos algo preso a carroceria e o colocarmos em contato com a superfície da roda girante, haverá atrito entre essas duas superfícies devido à velocidade relativa entre elas, sendo um atrito de origem cinética.

Isso permite acelerar a roda, reduzindo a sua velocidade, que sob o regime de acoplamento, implica, igualmente, em redução da velocidade do veículo, pois diminui a tração exigida pela roda à pista (Entenda por roda, o conjunto de rodas do veículo).

Portanto, uma tecnologia de freio que utilize esse atrito como meio de funcionamento, deve ser composta de duas partes uma presa a carroceria e outra a roda, que devem ser postas em contato no momento do acionamento. Observe a figura.

Figura 14 – Foto de um disco de freio acompanhado da pinça que contém as pastilhas de freio. É possível ver as ranhuras provocadas pelo atrito entre as pastilhas e o disco. Fonte: o autor

A imagem mostra um mecanismo da tecnologia de freio a disco. O disco é a parte que é presa à roda e, portanto, gira com ela. Já a pinça é a parte fixa a estrutura da carcaça do automóvel ou à carroceria. Quando, acionado este mecanismo, a pinça que contém as pastilhas de freio, coloca essas em contato com o disco girante. O módulo da força normal às duas superfícies de contato, pastilhas e disco, do qual a intensidade do atrito depende, é a resposta da reação à força aplicada pela pinça ao disco. Como a força de atrito desejada é muito alta, a força normal exigida também o é, e uma tecnologia de multiplicação da força de acionamento, gerada pelo motorista, faz-se necessária e deve compor o mecanismo.

Observe a figura abaixo que mostra um esquema, simplificado, da atuação das pastilhas no disco.
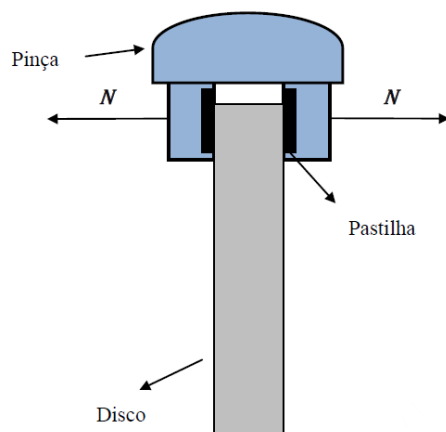
Figura 15 – Ilustração de uma vista superior, simplificada, de um disco de freio com a pinça e as pastilhas de freio. Fonte: Autoria de Fabio Luiz de Souza

Esse mecanismo pode ser muito eficiente, pois as pastilhas e o disco são projetados para terem alto desempenho de atrito para forças normais adequadas, mesmo contaminados com chuva e lama, diminuindo a influência de fatores externos.

O problema desta tecnologia é que um dos fatores externos não é controlado, o humano que dirige o carro. Isso, porque esse mecanismo é dependente da força de acionamento dos freios feita pelo motorista. Pois, se a força não for aplicada de forma a evitar o bloqueio das rodas, a frenagem deixará de ocorrer pelo sistema e ficará por conta do atrito entre a superfície da roda e da pista. O que significa perder a dirigibilidade e a frenagem eficiente do veículo.

Assim, na eminência de uma colisão, se o motorista não tiver a calma para controlar a força de acionamento

do freio, a colisão terá maior chance de ocorrer, além da perda da possibilidade de desvio devido à ausência da dirigibilidade.

A facilidade com que ocorre a travagem das rodas em uma frenagem é dependente das condições de aderência entre o pneu e a superfície da pista. Quanto menor a aderência mais fácil é realizar o bloqueio das rodas. Para maior aderência, as forças normais atuantes nas rodas que são oriundas da pista são fundamentais, além do coeficiente de atrito estático entre o pneu e a pista.

Por isso, em dias de chuva, é muito mais fácil bloquear as rodas do que em dias secos. É aí que está o perigo de frear em dias de chuva! Observe que, diferente do que muita gente pensa, a chuva não diminui, substancialmente, a capacidade de frenagem se não houver o bloqueio das rodas.

Para evitar que ocorra a travagem, um exemplo de tecnologia é a de freio ABS (*Antiblockiersystem* ou Sistema de freio antibloqueio). Ela permite que a frenagem ocorra de forma mais eficiente, pois não permite o bloqueio das rodas. Nessa, a força de acionamento dos freios aplicada pelo motorista é mediada por um sistema eletrônico que transmite ao sistema de frenagem somente intensidades menores que um valor crítico estabelecido, sendo esse valor o que causa o bloqueio da roda. É importante ressaltar, que esse valor crítico não depende somente do sistema interno do mecanismo de frenagem do carro, dependendo também do atrito estático exercido pela pista à roda no instante da frenagem. Portanto, esse sistema eletrônico "lê", constantemente e em tempo de execução, as condições de aderência entre o pneu e a pista.

Assim, para quem tem ABS em seu equipamento de freio pode frear na chuva sem preocupação!

Vimos que o ganho de eficiência do freio ABS em relação ao freio a disco é possibilitado devido ao controle das forças normais que são aplicadas ao disco de freio pela pinça através das pastilhas, conforme a figura 15. Infelizmente, sem esse sistema, para o ser humano ter tal controle exigira dele muita experiência e sangue frio!

Questões de exploração

1. *Pesquise a origem do freio ABS e o motivo de sua invenção. A legislação brasileira obrigará que a partir de 2014 todos os carros estejam equipados com freio ABS. Com isso tal decisão implicará em um aumento de preço ao consumidor. Você é a favor dessa obrigatoriedade? Escreva um texto justificando sua posição.*
2. *Assista ao vídeo 4 – "Teste de Freios" acessando o link: http://www.youtube.com/watch?v=0vu8lxzP5QY. Utilizando as informações constantes no conteúdo do vídeo compare a eficiência do ABS com a do sistema de Freio a disco.*
3. *No vídeo 5 – "Manutenção de Freios", acesse o link: http://www.youtube.com/watch?v=eOMw5bicCkc, os técnicos se referem a problemas e cuidados com o sistema de freios. Anote estas informações e considere as questões:*
   a) *Há um erro, de expressão ou não, na fala de um dos comentaristas sobre o que o sistema de freio deveria fazer. Que erro é este?*
   b) *Quando um carro ao frear, emite um som agudo, o que pode estar acontecendo?*
   c) *O disco de freio pode sofrer "empenamento", ou seja, a superfície do disco pode ficar fora do plano a qual pertence, apresentando oscilações. Busque informações no vídeo ou/e fora dele de situações que podem causar este problema.*

Considerações sobre a frenagem a disco

O sistema de freio a disco utiliza o atrito cinético entre as pastilhas fixas ao mecanismo de pinça e o disco girante fixo a roda. Por se tratar de duas superfícies em que a velocidade relativa é diferente de zero, os sistemas de freios nunca utilizam o atrito estático diretamente!

Desta forma, as pastilhas de freio são projetadas para obterem um alto coeficiente de atrito cinético μ_k com o disco preso a roda. Ainda, mesmo com impurezas indesejáveis como lama, água, água com óleo e outras, esse coeficiente de atrito ainda apresenta um valor significativo.

A tabela abaixo mostra coeficientes de atrito entre pares de superfícies que podem participar de uma frenagem.

Tabela 2 – Coeficientes de atrito entre dois sólidos.

Dupla de superfícies em contato	Coeficiente de atrito	Grau de Perigo
Pneu – Asfalto seco (muito rugoso)	$\mu_{asfalto/pneu} > 0,72$ (estático)	Muito Baixo
Pneu – Asfalto seco (rugoso)	$0,2 < \mu_{asfalto/pneu} < 0,4$ (estático)	Baixo
Pneu – Asfalto muito Liso. Por exemplo: molhado e com lama.	$0,24 < \mu_{asfalto/pneu} < 0,30$ (estático)	Médio a Alto
Pneu – Asfalto extremamente liso. Por exemplo: muito molhado, com lama e/ou com óleo.	$\mu_{asfalto/pneu} \leq 0,24$ (estático)	Muito Alto
Pneu – Asfalto muito liso. Por exemplo: molhado e com lama.	$\mu_{asfalto/pneu} < 0,20$ (cinético)	Médio a Alto
Pastilha de freio – Disco de aço (Veículos Populares)	$\mu_{pastilha} \approx 0,5$ (cinético)	_

O mecanismo de freio exige forças normais (figura 15) de grandes intensidades para que aconteça a frenagem. A força normal é uma força de vínculo, ou seja, força que necessita da existência de outra para existir. Ela é uma resposta ou força de reação à força aplicada pela pinça ao disco de freio. Por isso, seu módulo não depende só do mecanismo da pinça como também da resistência à flexão do disco. Portanto, o disco precisa ser extremamente rígido, normalmente feito de aço.

Como a pinça aplica um par de forças para cada roda, temos também um par de forças de reação que são normais às superfícies de contato, mostradas na figura 15. Assim, podemos afirmar, assumindo a simetria do mecanismo, que a força normal total para o veículo é 4 **N**, sendo **N** a força normal aplicada pelo disco à cada pastilha de freio.

Consideramos apenas 4 pastilhas por veículo, pois estamos partindo da premissa real de que a maioria dos carros do Brasil, os populares, apresentam sistemas de freio a disco apenas nas duas rodas dianteiras, que também são as únicas que recebem a tração do motor.

Logo, utilizando a equação 13 podemos escrever:

$$\mathbf{F}_{\mathbf{frenagem}} = 4 \,.\, \mu_{pastilha} \,.\, \mathbf{N} \quad \text{(Eq. 17)}$$

Assim, recorrendo a equação 7 e substituindo **Fm** (força de frenagem média) pela força $\mathbf{F}_{\mathbf{frenagem}}$, obteremos:

$$\mathbf{F}_{\mathbf{frenagem}} \,.\, \Delta t_f = m.\, \Delta \mathbf{V}$$

$$-\,4 \,.\, \mu_{pastilha} \,.\, \mathbf{N}_{\mathbf{sistema\ de\ freios}} .\, \Delta t_f = m.\, \Delta \mathbf{V} \quad \text{(Eq. 18)}$$

O sinal negativo na equação acima se deve ao fato da força de frenagem ser oposta ao sentido da velocidade inicial, considerada aqui como progressiva.

Explicitado anteriormente, essa força normal deve ser inferior a um valor crítico, esse valor depende do atrito estático entre o pneu e a pista e do atrito cinético da pastilha com o disco de freio.

A Frenagem do carro de Roberta.

No momento do acionamento dos freios as condições da pista, do pneu, do sistema de freios e da interação destes componentes são cruciais para que a frenagem ocorra de forma eficiente. Ressaltamos, que tudo o que foi debatido neste texto foi feito de forma simplificada, porém, válida para entendermos os parâmetros para o processo de frenagem.

Para garantir uma frenagem em ótimas condições, mesmo com chuva como é o caso da situação de Roberta, vamos garantir que ela acione os freios sem causar a travagem das rodas, portanto, o atrito entre as rodas e o solo estará no regime estático.

A partir disso, sabemos que a força crítica resultante de atrito entre o par de pastilhas e o disco de freio deve ser menor que a força de atrito estática entre cada pneu e a pista. Utilizando os dados da tabela 2, coerentes com o caso da HQ, vamos inferir informações para a realização de uma frenagem segura.

Os módulos das forças de atritos, para evitar a travagem, se relacionam da seguinte forma:

$$F_{atrito-pneu/asfalto} > F_{atrito-pastilha/disco} \qquad \text{(Eq. 19)}$$

Por serem 2 rodas e 4 pastilhas, sendo um par de pastilhas para cada roda dianteira, a equação 19 terá um fator 2 no membro esquerdo e 4 no direito. Então:

$$2 \,.\, \mu_{pneu/asfalto} \,.\, N_{pneu/asfalto} > 4 \,.\, \mu_{pastilha/disco} \,.\, N_{sistema\ de\ freios} \quad \text{(Eq. 20)}$$

Vamos considerar, de forma simplificada, que a força normal de sustentação do carro (N_{carro}) seja distribuída e aplicada às superfícies de contato entre os pneus e a pista. Assim, sendo ela a reação à ação da força peso do carro, distribuída aos quatro pneus, conforme a distribuição de massa. Precisamos estabelecer como é essa distribuição. Por isso, vamos assumir que 60% do peso do carro estejam nas rodas dianteiras e 40% nas traseiras. Esse critério de distribuição segue a ideia de que o centro de massa do carro é deslocado para frente do seu centro geométrico, devido ao peso do motor. E assim, podemos escrever:

$$N_{carro} = m \,.\, g \qquad \text{(Eq. 21)}$$

Então, para um pneu frontal:

$$N_{pneu/asfalto} = \frac{0{,}6 \,.\, N_{carro}}{2} = 0{,}3 \,.\, m.\, g \qquad \text{(Eq. 22)}$$

A igualdade expressa na equação 21 só é válida, partindo da premissa de que a pista seja plana e sem inclinações, por isso, vamos considerar que no caso de Roberta o aclive, por estar subindo a serra do mar, seja pequeno e, assim, seu efeito pode ser desconsiderado.

Com isso, a equação 20 fica:

$$2 \,.\, \mu_{pneu/asfalto} \,.\, 0{,}3 \,.\, m.\, g > 4 \,.\, \mu_{pastilha/disco} \,.\, N_{sistema\ de\ freios} \qquad \text{(Eq. 23)}$$

Utilizando os valores da tabela 2, coerentes com o caso de Roberta, a saber: $\mu_{asfalto/pneu} = 0{,}27$ (estático), que é a média dos extremos: $0{,}24 < \mu_{asfalto/pneu} < 0{,}30$ e $\mu_{pastilha} \approx 0{,}5$ (cinético), ou seja, assumimos o asfalto como muito liso e a roda na condição de acoplada durante a frenagem. Obtemos da equação 23:

$$2 \,.\, 0{,}27 .\, 0{,}3 \,.\, m.\, g > 4 \,.\, 0{,}5 \,.\, N_{sistema\ de\ freios}$$

Concluindo que:

$$N_{sistema\ de\ freios} < \frac{0{,}162 \,.\, m.\, g}{0{,}2} \qquad \text{e portanto,}$$

$$N_{sistema\ de\ freios} < 0{,}81.\, m.\, g \qquad \text{(Eq. 24)}$$

A equação 24 mostra que a força normal oferecida pelo disco de freio a cada pastilha, ou de forma equivalente, que a força impressa por cada pastilha a esse disco **deve ser menor que 81%** da força normal resultante da pista ao carro.

Por se tratar de uma situação crítica, vamos assumir a intensidade da força normal entre disco e pastilha como **70%** do módulo da força normal da pista ao carro.

Voltando a equação 18, escrevemos:

$$-\,0{,}5 \,.\, 4 \,.\, (0{,}7 \,.\, m.\, g) \,.\, \Delta t_f = m.\,(V - V_0) \qquad \text{(Eq. 25)}$$

Como a massa do carro está presente nos dois membros da equação, então, podemos cancelá-la. E, considerando que queiramos parar o carro ($V = 0$), a equação 25 fica:

$$\Delta t_f = \frac{V_0}{1{,}4 \,.\, g} \qquad \text{(Eq. 26)}$$

Nesta estimativa, consideramos apenas forças médias e desconsideramos as variações que na realidade a força de frenagem apresenta. O intervalo de tempo obtido é o estimado para garantir que ocorra uma frenagem segura até parar o carro, se exigirmos que ele seja menor, haverá a incorrência de riscos. Veja que ele é extremamente dependente da velocidade que o carro está antes da ação dos freios.

Agora, vamos calcular a distância de frenagem através da equação 6, apresentada anteriormente. Já

conhecemos Δt_f e a aceleração impressa pela força externa responsável pela frenagem é a provocada pela resultante das pastilhas de freio que é $1{,}4 \,.\, g$ m/s². Assim:

$$\Delta x_f = \frac{V_0^2}{1{,}4 \,.\, g} - \left(1{,}4 \,.\, g \,.\frac{1}{2}.\left(\frac{V_0}{1{,}4 \,.\, g}\right)^2\right)$$, que fica:

$$\Delta x_f = 0{,}714 \,.\frac{V_0^2}{g} - 0{,}357.\frac{V_0^2}{g}$$, resultando em:

$$\Delta x_f = 0{,}357.\frac{V_0^2}{g} \qquad \text{(Eq. 27)}$$

Considerando, a velocidade inicial de 80 km/h convertida em 22,22 m/s, que é a velocidade do carro de Roberta na ultrapassagem e a intensidade da aceleração gravitacional (g) igual a 9,81 m/s², pode-se estimar a distância mínima em metros para a frenagem segura.

$$\mathbf{\Delta x_f \cong 18\ m}$$

Essa é a distância mínima de atuação do sistema de frenagem para que ela aconteça em perfeita condição, sem riscos as passageiras. Porém, lembrando da equação 5, a distância total do processo de frenagem é:

$$\Delta x_{tot} = (\Delta x_p + \Delta x_r) + \mathbf{18\ m} \qquad \text{(Eq. 28)}$$

Assim, considerando a hipótese 1 e, que antes da ação de Roberta, a soma do tempo de percepção e reação ($\Delta t_p + \Delta t_r$) seja igual a 2 s. E ainda, que o carro estava a 80 km/h e em velocidade constante. Podemos escrever:

$$\Delta x_p + \Delta x_r = V_0 \,.(\Delta t_p + \Delta t_r) \qquad \text{(Eq. 29)}$$

Obtemos:

$$\Delta x_p + \Delta x_r = 44{,}44\ m \cong \mathbf{44\ m}$$

Portanto, voltando à equação 28:

$$\mathbf{\Delta x_{tot} = 62\ m}$$

Esta é a distância de frenagem mínima para Roberta e sua filha frearem o carro em segurança.

Questões de exploração

1. *Estime a segurança mínima para a frenagem do carro de Roberta como feito acima, porém, para condições não críticas, ou seja, asfalto seco.*
2. *É possível, considerando a distância mínima de frenagem calculada para o carro de Roberta nas condições da HQ, ultrapassar o caminhão em segurança? Faça sua estimativa e utilize uma margem de segurança para afirmar a possibilidade.*
3. *Faça a estimativa da distância de frenagem, como foi realizada no texto acima, para o caso do bloqueio das rodas e compare com a realizada por nós. Para isto suponha o coeficiente de atrito cinético dos pneus com o asfalto como 0,9. Ela deve ser maior. Então, é maior?*

Algumas referências para leitura pelo professor:

HAUBERT, M. C. Curso de Licenciatura em Matemática – Geometria I. Disponível em: http://mathematikos.psico.ufrgs.br/contribuir/geomarcelo.html. Acesso em 26/05/2011.

OLIVEIRA, I. S. Física Moderna: para iniciados, interessados e aficionados. Vol. 1 São Paulo: Editora Livraria da física, 2005, p. 1-24.

PIETROCOLA, M. (Org.) Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. 2 ed. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2005, p. 101 – 150.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G.Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. Vol. 1 Rio de Janeiro: LTC, 2006, cap. 4, 5, e 12.

Artigos *online*:

MARTELO FILHO, Ventura Raphael; FLORENZO, Valdir. Limitação da velocidade máxima a noite em função do alcace útil dos faróis. In: ESTRADA. Disponível em: http://www.estradas.com.br/sosestradas/articulistas/martello/estudovelocidade.asp acessado em 30/05/2012. O artigo discute a velocidade máxima que se pode trafegar à noite em regiões de baixa iluminação.

TOPOGRAFIA GERAL. Capítulo 7 – Distância de visibilidade nas rodovias. Disponível: http://www.topografiageral.com/Curso/capitulo%2007.php acessado em 30/05/2012. Apresenta noções de Topografia para projetos rodoviários.

Refletindo sobre os resultados:

Este é o momento de realizar um retrospecto da resolução, revisando e discutindo a situação considerando o potencial da teoria física, a partir do que foi discutido anteriormente.

Por exemplo, a hipótese 1 “Considera-se o trecho em estudo da rodovia PR – 508 retilínea, isto é, sem aclives, declives ou curvas consideráveis...”, nos levou a desconsiderar a velocidade diretriz (Velocidade diretriz é a velocidade máxima na qual o veículo pode trafegar na estrada em qualquer ponto com toda a segurança sem qualquer problema ou acidente). Essa velocidade considera o relevo, tomando três categorias: plano, quando a declividade do terreno é menor do que 4%, ondulado (declividade entre 5 e 14%) e montanhoso (declividade maior que 14%). (HAUBERT. In: http://mathematikos.psico.ufrgs.br/contribuir/geomarcelo.html). Acesso em: 13/06/2011

Ao tomar tal decisão também desconsideramos a velocidade operacional dos veículos, ou seja, não levamos em conta as características do veículo como massa e peso, potência do motor, tipo do veículo, etc. Também as condições do condutor do veículo, Roberta, para dirigi-lo.

Além disso, a força de atrito muda conforme o relevo do local, fato que pode mascarar os resultados encontrados. Na nossa análise só levamos em conta o coeficiente de atrito longitudinal e não consideramos que a força de atrito é maior na descida e menor na subida o que muda o valor determinado para a distância de frenagem mostrada na equação 27.

Ressalta-se também que, não foi considerado o momento de inércia das rodas já que as pastilhas de freio agem sobre a velocidade de rotação das rodas.

No quadro anterior retomamos a situação problema com os estudantes a fim de rediscutir com eles os resultados. Neste momento, o professor deve retomar as hipóteses criadas para resolvê-la, de forma que os estudantes cheguem a um consenso, também levando em conta que:

- Temos escassez de dados sobre os veículos: carro e caminhão;
- A velocidade do caminhão é desconhecida;
- Consideramos a velocidade inicial do veículo V_o igual a 80km/h, mas não temos como precisar este valor;
- Não sabemos a posição inicial da frenagem, portanto, o máximo que podemos dizer é que estando o

veículo a 62 m do local do deslizamento, a condutora poderá evitar um acidente.

Temos então uma questão aberta, para a qual não se pode precisar uma resposta. No entanto, é bom lembrarmos, nosso objetivo inicial era despertar nos estudantes uma nova perspectiva para resolução de problemas em física que rompesse com a tradição da substituição de valores numéricos em fórmulas, de forma a buscar o entendimento do problema físico, por consequência a aprendizagem dos estudantes.

> A análise de casos particulares de uma dada situação ou mesmo pequenas transformações nas condições iniciais de um problema mostram ao aluno que "parar e pensar" após a resolução de um problema parece, inegavelmente, ser uma atitude muito mais eficaz e instrutiva do que, de imediato, "passar para o próximo de uma extensa lista de questões". (...)
> Do ponto de vista do aluno propriamente dito, a mudança (tão necessária, com frequência) ocorre quando ele percebe a importância de um problema para o seu aprendizado. (PEDUZZI; PEDUZZI. In: PIETROCOLA, 2005, p. 121-122)[8].

Reforça-se, é nossa responsabilidade desenvolver estas atitudes mais favoráveis nos estudantes.

O ponto de partida para a realização destes encaminhamentos foi considerar o quadro conceitual no qual a situação-problema proposta pela HQ se insere, a mecânica clássica, o que implicou considerar uma força externa atuando sobre o veículo para alterar a sua velocidade. O leitor deve ter observado que todo o conjunto das leis de Newton pertencente a esse quadro foi utilizado e mostraram-se fundamentais para a análise.

> Diante da dificuldade para ensinar (...) a recomendação que resta é a de estimular e encorajar o professor a ouvir os estudantes; ouvir com o objetivo de obter informações que são ao mesmo tempo final de uma etapa e ponto de partida de outro num processo que tem continuidade em direção ao conhecimento significado desejado.
> Com esta preocupação o professor tem certamente a necessidade de compreender profundamente esse conteúdo para poder orientar a construção do conhecimento de seus estudantes.
> De qualquer modo, a nosso ver, a compreensão global se completará quando forem estudadas as três leis e o embricamento entre elas tornar-se evidente. O conceito de força que é caracterizado na 3ª lei traz ingredientes essenciais para reelaborar a concepção de "forma impressa"[9]

Pense em um telhado, para confeccioná-lo é preciso juntar as telhas de forma que se sobreponham umas as outras, mas todas são importantes, como se fossem as escamas de um peixe. Pois, quando consideradas individualmente o telhado não existiria! Assim o é o aporte conceitual da mecânica clássica! Como falar em impulso sem considerar as leis de Newton?

O problema é que estamos viciados na tradição que compartimentou os conteúdos separando-os em caixinhas que não se conversam e, independentes uns dos outros.

Por isso cuidado…
há perigo na esquina...
Minha dor é perceber;
Que apesar de temos
Feito tudo, tudo,
Ainda somos
Os mesmos e vivemos
Como nossos pais...
Ainda somos os mesmos.
(Composição: Belchior, 1976)

Para tornar possível o conhecimento dos estudantes precisamos pensar no como ensinar e no como entendemos os conteúdos a serem ensinados. Conforme coloca Pacca (1991), para planejar é preciso profundo conhecimento técnico. Esse indicará a melhor forma de tratar um conteúdo, visto que conteúdo e forma não se dissociam.

Criemos coragem, deixemo-nos vivenciar novas formas de aprender e ousemos ensinar um pouco diferente de nossos pais!

---

[8] PIETROCOLA, M. (Org.) Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora - 2 ed. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2005.

[9] PACCA, J. L. A. O ensino da lei da inércia: dificuldades do planejamento: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 8, nº 2: 99-105, ago, 1991, p. 105. In: www.portal.ufsc.phf/fisica/article/download/9240/14097.

Referencial teórico:

CALDAS, H. **Rolamento sem escorregamento:** atrito estático ou atrito de rolamento? Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 17, n. 3, p. 257-269, dez./2000

CALDAS, H., CUNHA, A. L.; MAGALHÃES, M. E. **Repouso e movimento: que tipo de atrito? O que relatam os livros da 8ª série do ensino fundamental e do ensino médio.** Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Vol. 2, n. 2, dez, 2002.

CALDAS, H.; SALTIEL, E**. Sentido das Forças de atrito e Movimento – I**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 21, n. 3, setembro, 1999.

_____. **Sentido das Forças de atrito e Movimento – II uma análise dos livros utilizados no ensino superior brasileiro Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol. 21, n. 4, dezembro, 1999, p. 542-549.

CUNHA, A. l. **Sentido das Forças de atrito e os livros da 8ª série**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 17, n.1, p. 5-21, abr./2000.

FÁVERO, Maria Helena; SOUSA, Célia Maria Soares Gomes de. **A resolução de problemas em física:** revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n2/v6_n2_a3.htm . Acesso em: 25/04/2011.

HAUBERT, M. C. **Curso de Licenciatura em Matemática – Geometria I**. Disponível em: http://mathematikos.psico.ufrgs.br/contribuir/geomarcelo.html**.** Acesso em 26/05/2011.

LEITE, Á. E. **Leitura no ensino de física:** Concepções, sentidos, possibilidades e dificuldades segundo o olhar dos professores. (Dissertação de mestrado) Curitiba: UFPR, Programa de Pós-Graduação em Educação.

MARINHO, E. S. **Histórias em Quadrinhos:** a oralidade em sua construção. Disponível em: http://www.filologia.org.br/viiicnlf/anais/caderno12-11.html. Acesso em: 03/05/2011.

MARTELO FILHO, Ventura Raphael; FLORENZO, Valdir. Limitação da velocidade máxima a noite em função do alcace útil dos faróis. In: ESTRADA. Disponível em: http://www.estradas.com.br/sosestradas/articulistas/martello/estudovelocidade.asp acessado em 30/05/2012. O artigo discute a velocidade máxima que se pode trafegar à noite em regiões de baixa iluminação.

OLIVEIRA, I. S. **Física Moderna:** para iniciados, interessados e aficionados. Vol. 1 São Paulo: Editora Livraria da física, 2005, p. 1-24.

PACCA, J. L. A**. O ensino da lei da Inércia: dificuldades do planejamento.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, florianópolis, v. 8, n. 2: 99-105, ago, 1991. Disponível em: *www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/9240/14097*

PIETROCOLA, M. (Org.) **Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. 2 ed. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2005, p. 101 – 150.

POLYA, G. **A arte de resolver problemas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006, p. 4.

TESTONI, L. A.; SANTOS, M. L. V. Dos. **Histórias em Quadrinhos e o Ensino de Física:** uma proposta para o ensino sobre inércia. Disponível em: www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/sys/.../T0229-1.pdf. Acesso em: 27/04/201.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica.** Vol. 1 Rio de Janeiro: LTC, 2006. cap. 4,5 e 12.

TOPOGRAFIA GERAL. Capítulo 7 – Distância de visibilidade nas rodovias. Disponível: http://www.topografiageral.com/Curso/capitulo%2007.php acessado em 30/05/2012. Apresenta noções de Topografia para projetos rodoviários.

GOVERNADOR DO ESTADO DO PARANÁ
Beto Richa

SECRETÁRIO DE ESTADO DA EDUCAÇÃO
Flávio Arns

DIRETOR GERAL DA SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO
Jorge Eduardo Wekerlin

SUPERINTENDENTE DA EDUCAÇÃO
Eliane Vieira Rocha

DIRETORIA DE TECNOLOGIA EDUCACIONAL
Rogério Bufrem Riva

DEPARTAMENTO DA EDUCAÇÃO BÁSICA
Maria Cristina Theobald

WWW.EDUCACAO.PR.GOV.BR